



**TUGAS AKHIR - TF 141581**

**RANCANG BANGUN *COMBINED ACTIVE-PASSIVE SOLAR TRACKER* PADA *MOBILE BASED PHOTOVOLTAIC* MENGGUNAKAN METODE KENDALI FUZZY-PI**

**MUCHAMMAD FAISHAL DEFIA RAHMAN**  
NRP. 0231134000082

Dosen Pembimbing  
Dr. Imam Abadi, ST. MT.

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



**FINAL PROJECT - TF141581**

***DESIGN OF COMBINED ACTIVE-PASSIVE  
SOLAR TRACKER ON MOBILE BASED  
PHOTOVOLTAIC USING FUZZY-PI CONTROL  
METHOD***

**MUCHAMMAD FAISHAL DEFIA RAHMAN**  
**NRP. 02311340000082**

*Supervisor*  
**Dr. Imam Abadi, ST. MT.**

**DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS**  
**Faculty of Industrial Technology**  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**  
**Surabaya 2018**

***Halaman ini sengaja dikosongkan***

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

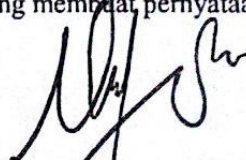
Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Muchammad Faishal Defia Rahman  
NRP : 02311340000082  
Departemen : Teknik Fisika  
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri  
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir saya yang berjudul “Rancang Bangun *Combined Active-Passive Solar Tracker* Pada *Mobile Based Photovoltaic* Menggunakan Metode Kendali Fuzzy-PI” adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila pernyataan ini terbukti tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 22 Januari 2018  
Yang membuat pernyataan,



Muchammad Faishal Defia Rahman  
NRP. 02311340000082

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## LEMBAR PENGESAHAN

### RANCANG BANGUN *COMBINED ACTIVE-PASSIVE SOLAR TRACKER* PADA *MOBILE BASED PHOTOVOLTAIC* MENGGUNAKAN METODE KENDALI FUZZY-PI

#### TUGAS AKHIR

Oleh:

Muchammad Faishal Defia Rahman

NRP : 02311340000082

Surabaya, 22 Januari 2018

Menyetujui

Dosen Pembimbing



Dr. Imam Abadi, S.T., M.T.

NIP. 19761006 199903 1 002

Kepala Departemen Teknik Fisika



Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.

NIP. 19780902 200312 1 002

***Halaman ini sengaja dikosongkan***



**RANCANG BANGUN *COMBINED ACTIVE-PASSIVE SOLAR TRACKER* PADA *MOBILE BASED PHOTOVOLTAIC* MENGGUNAKAN METODE KENDALI FUZZY-PI**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Rekayasa Instrumentasi  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Muchammad Faishal Defia Rahman**  
**NRP. 0231134000082**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

- |                                   |                          |
|-----------------------------------|--------------------------|
| 1. Dr. Imam Abadi, S.T., M.T.     | .....(Pembimbing)        |
| 2. Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc.    | .....(Ketua Tim Penguji) |
| 3. Arief Abdurrakhman, S.T., M.T. | .....(Penguji I)         |
| 4. Ir. Roekmono, M.T.             | .....(Penguji II)        |

**SURABAYA**  
**Januari, 2018**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **RANCANG BANGUN *COMBINED ACTIVE-PASSIVE SOLAR TRACKER* PADA *MOBILE BASED PHOTOVOLTAIC* MENGGUNAKAN METODE KENDALI FUZZY-PI**

**Nama Mahasiswa** : Muchammad Faishal Defia Rahman  
**NRP** : 02311340000082  
**Program Studi** : S1 Teknik Fisika  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Imam Abadi, S.T., M.T.

## **Abstrak**

Aplikasi sistem *solar tracker* merupakan salah satu solusi guna meningkatkan efisiensi dalam pemanfaatan *photovoltaic* (PV) sebagai pembangkit listrik tenaga surya. Prinsip kerja *solar tracker* adalah mengatur posisi *photovoltaic* menggunakan sistem kendali agar posisi bidang selalu berada tegak lurus menghadap matahari sehingga menghasilkan daya keluaran yang optimal. Sistem *active-passive solar tracker* bekerja berdasarkan kondisi sensor dalam membaca nilai masukan. Perbedaan keduanya terletak pada sensor yang digunakan. *Active solar tracker* menggunakan sensor LDR, sedangkan *passive solar tracker* menggunakan sensor CMPS10. Dari penelitian ini diperoleh performansi respon sistem yang handal. Hal ini ditunjukkan dari respon sistem terhadap sudut *yaw* diperoleh nilai *rise time* ( $t_r$ ) sebesar 5,612 s, *delay time* ( $t_d$ ) sebesar 2,806, *peak time* ( $t_p$ ) sebesar 6,33 s, *settling time* ( $t_s$ ) sebesar 10,2 s, *maximum overshoot*(%) sebesar 0,045 dan *error steady state* ( $e_{ss}$ ) sebesar 0,4. Dan untuk pengujian respon terhadap sudut *pitch* diperoleh nilai *rise time* ( $t_r$ ) sebesar 2,66 s, *delay time* ( $t_d$ ) sebesar 1,33, *peak time* ( $t_p$ ) sebesar 3 s, *settling time* ( $t_s$ ) sebesar 5,25 s, *maximum overshoot*(%) sebesar 0,25 dan *error steady state* ( $e_{ss}$ ) sebesar 0,28. Peningkatan efisiensi PV menggunakan sistem *solar tracker* dibandingkan terhadap PV *fixed* mampu mencapai 27,18% dengan selisih peningkatan daya sebesar 32,96 Wh.

**Kata kunci** : *Solar Tracker, Mobile Active-Passive Solar Tracker, Kendali Fuzzy PI*

***Halaman ini sengaja dikosongkan***

***DESIGN OF COMBINED ACTIVE-PASSIVE SOLAR  
TRACKER ON MOBILE BASED PHOTOVOLTAIC USING  
FUZZY-PI CONTROL METHOD***

***Name*** : Muchammad Faishal Defia Rahman  
***NRP*** : 2413100082  
***Study Program*** : S1 Teknik Fisika  
***Supervisor*** : Dr. Imam Abadi, S.T., M.T.

***Abstract***

*The application of solar tracker system is one of the solutions to increasing efficiency in the utilization of photovoltaics (PV) as a solar power plant. The working principle of solar tracker is to adjust the position of the photovoltaic using a control system in order to the position of sphere is always perpendicular to the sun so that it produces an optimal output power. The active-passive solar tracker system works based on sensor conditions in reading input values. The difference both of them are in the sensor used. Active solar tracker using LDR sensor, while passive solar tracker using CMPS10 sensor. From this research obtained reliable performance of system response. This is shown from the system response to the yaw angle obtained by the rise time ( $t_r$ ) is 5.612 s, the delay time ( $t_d$ ) is 2.806, the peak time ( $t_p$ ) is 6.33 s, the settling time ( $t_s$ ) is 10.2 s, maximum overshoot (%) is 0.045 and steady state (ess) error is 0.4. And for testing the response to the pitch angle obtained the value of rise time ( $t_r$ ) is 2.66 s, delay time ( $t_d$ ) is 1.33, peak time ( $t_p$ ) is 3 s, settling time ( $t_s$ ) is 5.25 s, maximum overshoot (%) is 0.25 and steady state (ess) error is 0.28. Increased efficiency of PV using solar tracker system compared to fixed PV can reach 27,18% with difference of power increase equal to 32,96 Wh.*

***Keywords: Solar Tracker, Mobile Active-Passive Solar Tracker, Fuzzy PI Control***

***Halaman ini sengaja dikosongkan***

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah S.W.T, karena rahmat dan hikmat-Nya sehingga penulis diberikan kesehatan, kemudahan, dan kelancaran dalam menyusun laporan tugas akhir ini. Tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan akademik yang harus dipenuhi dalam Program Studi S-1 Teknik Fisika FTI-ITS. Tidak lupa juga penulis menyampaikan ucapan terima kasih setulusnya kepada:

1. Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D. selaku kepala departemen Teknik Fisika ITS.
2. Dr. Imam Abadi, S.T, M.T.. selaku dosen pembimbing tugas akhir ini, yang selalu sabar memberikan semangat dan masukan-masukan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir.
3. Prof. Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah, M.T. selaku dosen wali yang baik hatinya.
4. Segenap Bapak/Ibu dosen pengajar di Departemen Teknik Fisika - ITS.
5. Segenap keluarga khususnya ibu, ayah, dan mas, serta adek tercinta yang telah memberikan dukungan penuh dalam penyelesaian tugas akhir ini.
6. Saudari Putri Auliya Fidyastuti yang senantiasa setia mendampingi dan memberikan dukungan kapanpun.
7. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Fisika, khususnya cak Munir, cak Ariel, cak Kurnia, cak Thoriq, cak Restha, cak Lucky, cak Syam, cak Fahmi, cak Berto, dan cak Hazmi yang senantiasa memberikan motivasi dan perhatian membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.
8. Angkatan F48 tercinta yang selalu menjadi motivasi tersendiri bagi penulis.
9. Teman-teman asisten Laboratorium Rekayasa Instrumentasi dan kontrol yang senantiasa memberikan motivasi dan perhatian.

10. Teman-teman peneliti dalam *solar tracker research team* yang telah memotivasi dan memberikan bantuan-bantuan dalam penyelesaian laporan tugas akhir ini.
11. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terimakasih atas dukungan apapun bentuknya.

Penulis menyadari bahwa mungkin masih ada kekurangan dalam laporan ini, sehingga kritik dan saran penulis terima. Semoga laporan ini dapat berguna dan bermanfaat bagi penulis dan pihak yang membacanya.

Surabaya, 22 Januari 2018

Penulis



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PENGESAHAN .....	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK .....	xi
<i>ABSTRACT</i> .....	xiii
KATA PENGANTAR .....	xv
DAFTAR ISI .....	xvii
DAFTAR GAMBAR .....	xix
DAFTAR TABEL .....	xxiii
DAFTAR NOTASI .....	xxv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Permasalahan .....	3
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Tugas Akhir .....	4
BAB II DASAR TEORI .....	5
2.1 <i>Solar Tracker</i> .....	5
2.2 Metode Kendali Fuzzy-PI .....	7
2.2.1 Kendali PI (Proportional Integral) .....	7
2.2.2 <i>Fuzzy Logic Controller</i> .....	8
2.2.3 Kendali Fuzzy-PI .....	10
2.3 Posisi Matahari01 .....	10
2.4 <i>Photovoltaic</i> .....	12
2.5 <i>Light Dependent Resistor</i> (LDR) .....	13
2.6 Sensor CMPS10 .....	14
2.7 Motor DC .....	15
BAB III METODE PENELITIAN .....	17
3.1 Studi Literatur .....	18
3.2 Pengumpulan Data Spesifikasi .....	18
3.2.1 Spesifikasi PV .....	18
3.2.2 Aktuator (Motor DC) .....	19
3.2.3 Sensor (Sensor LDR, CMPS10, Tegangan, dan Arus) .....	20
3.2.4 Kontroler (Arduino Mega 2560) .....	20

3.3	Perancangan <i>Solar Tracker</i> .....	21
3.3.1	Perancangan <i>Active Solar Tracker</i> .....	25
3.3.2	Perancangan <i>Passive Solar Tracker</i> .....	26
3.4	Pengujian Komponen .....	27
3.5	Perancangan Fuzzy PI pada <i>Mobile Active Solar Tracker</i> 29	
BAB IV <u>ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN</u> .....		35
4.1	Hasil uji dan kalibrasi sensor arus ACS712-20A .....	35
4.2	Hasil uji dan kalibrasi sensor tegangan .....	37
4.3	Hasil kalibrasi sensor <i>CMPS10</i> .....	38
4.4	Hasil Uji Performansi PV .....	42
4.5	Pengujian Aktuator Motor DC .....	44
4.6	Pengujian Sensor LDR .....	45
4.7	Pengujian Pasif Solar Tracker .....	46
4.8	Pengujian <i>Mobile Active-Passive Solar Tracker</i> .....	48
4.8.1	Pengujian <i>Mobile Passive Solar Tracker</i> .....	48
4.8.2	Pengujian <i>Mobile Active Solar Tracker</i> .....	50
4.8.3	Pengujian <i>Combined Active-Passive Solar Tracker</i> ....	52
4.9	Pembahasan .....	55
BAB V <u>KESIMPULAN DAN SARAN</u> .....		59
5.1	Kesimpulan .....	59
5.2	Saran .....	59
DAFTAR PUSTAKA .....		61
LAMPIRAN .....		65
LAMPIRAN A.		
LAMPIRAN B.		
LAMPIRAN C.		
LAMPIRAN D.		
LAMPIRAN E.		
LAMPIRAN F.		
LAMPIRAN G.		

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b>	Solar tracker (a) single-axis dan (b) dual axis [1] ...5
<b>Gambar 2. 2</b>	Roadmap penelitian tentang solar tracker [2] .....6
<b>Gambar 2. 3</b>	Diagram Blok Kendali PI.....8
<b>Gambar 2. 4</b>	Cara kerja logika fuzzy [3].....8
<b>Gambar 2. 5</b>	Diagram blok kendali Fuzzy-PI [4].....10
<b>Gambar 2. 6</b>	Posisi matahari terhadap garis koordinat horisontal bumi [3] ..... 11
<b>Gambar 2. 7</b>	Prinsip Kerja Sel Surya [5] ..... 12
<b>Gambar 2. 8</b>	Kurva I-V Photovoltaic [1] ..... 13
<b>Gambar 2. 9</b>	Letak 4 buah sensor LDR..... 14
<b>Gambar 2. 10</b>	Modul Sensor CMPS10 [6] ..... 14
<b>Gambar 2. 11</b>	Model motor DC [7] ..... 15
<b>Gambar 3. 1</b>	Diagram alir pengerjaan penelitian .....17
<b>Gambar 3. 2</b>	Diagram Blok Sistem Pengendalian Solar Tracker .....21
<b>Gambar 3. 3</b>	Desain perancangan solar tracker.....22
<b>Gambar 3. 4</b>	Kerangka solar tracker (a) sebelum, dan (b) sesudah packaging .....23
<b>Gambar 3. 5</b>	Wiring sistem elektrik alat .....23
<b>Gambar 3. 6</b>	Rangkaian elektronik sistem .....24
<b>Gambar 3. 7</b>	Peletakan motor DC .....24
<b>Gambar 3. 8</b>	Prototipe Mobile Active-Passive Solar Tracker....25
<b>Gambar 3. 9</b>	Active Solar Tracker .....25
<b>Gambar 3. 10</b>	Sensor LDR dan balancer.....26
<b>Gambar 3. 11</b>	Diagram blok Passive Solar Tracker.....26
<b>Gambar 3. 12</b>	Peletakkan sensor CMPS10 .....27
<b>Gambar 3. 13</b>	Pengujian (a) sensor tegangan dan (b) sensor ACS712-20A.....27
<b>Gambar 3. 14</b>	Pengujian sensor CMPS10 <i>pitch</i> dan <i>yaw</i> .....28

<b>Gambar 3. 15</b>	Pengujian sensor LDR.....	28
<b>Gambar 3. 16</b>	Pengujian motor DC.....	29
<b>Gambar 3. 17</b>	Pengujian performansi PV .....	29
<b>Gambar 3. 18</b>	Diagram alir rancang bangun active solar tracker.....	30
<b>Gambar 3. 19</b>	Diagram blok kendali fuzzy-PI .....	31
<b>Gambar 3. 20</b>	Fungsi keanggotaan fuzzy masukan (a). error dan (b). deltaerror.....	32
<b>Gambar 3. 21</b>	Defuzzifikasi Kp dan Ki 3 MF sudut <i>yaw</i> .....	33
<b>Gambar 3. 22</b>	Sketch program Fuzzy-PI pada Arduino.....	34
<b>Gambar 3. 23</b>	Panel interface LabVIEW .....	34
<b>Gambar 4. 1</b>	Grafik regresi tegangan keluaran sensor terhadap variasi arus masukan.....	35
<b>Gambar 4. 2</b>	Grafik Uji naik dan turun sensor arus ACS712.....	36
<b>Gambar 4. 3</b>	Grafik regresi tegangan keluaran sensor terhadap variasi tegangan masukan.....	37
<b>Gambar 4. 4</b>	Grafik Uji naik dan turun sensor tegangan.....	38
<b>Gambar 4. 5</b>	Grafik respon output tegangan uji performansi PV .....	42
<b>Gambar 4. 6</b>	Grafik respon output arus uji performansi PV .....	43
<b>Gambar 4. 7</b>	Grafik respon daya output uji performansi PV .....	44
<b>Gambar 4. 8</b>	Grafik perubahan rpm terhadap input variasi tegangan pada motor DC .....	45
<b>Gambar 4. 9</b>	Grafik nilai pembacaan sensor LDR .....	45
<b>Gambar 4. 10</b>	Grafik respon sudut (a) yaw dan (b) pitch terhadap input set point .....	47
<b>Gambar 4. 11</b>	Grafik perbandingan output tegangan PV fixed dan PV tracker (mobile passive) .....	48
<b>Gambar 4. 12</b>	Grafik perbandingan output arus PV fixed dan PV tracker (mobile passive) .....	49
<b>Gambar 4. 13</b>	Grafik perbandingan daya yang dihasilkan PV tracker dan PV fixed (mobile passive) .....	50
<b>Gambar 4. 14</b>	Grafik perbandingan output tegangan PV fixed dan PV tracker (mobile active).....	51

<b>Gambar 4. 15</b>	Grafik perbandingan output arus PV fixed dan PV tracker (mobile active).....	51
<b>Gambar 4. 16</b>	Grafik perbandingan daya yang dihasilkan PV tracker dan PV fixed (mobile active).....	52
<b>Gambar 4. 17</b>	Grafik perbandingan output tegangan PV fixed dan PV tracker (combined active-passive) .....	53
<b>Gambar 4. 18</b>	Grafik perbandingan output arus PV fixed dan PV tracker (combined active-passive).....	54
<b>Gambar 4. 19</b>	Grafik perbandingan daya yang dihasilkan PV tracker dan PV fixed (combined active-passive) ..	55

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1. 1</b> Nilai n penentuan sudut deklinasi .....	12
<b>Tabel 3. 1</b> Spesifikasi Panel PV 18 .....	
<b>Tabel 3. 2</b> Spesifikasi motor DC .....	19
<b>Tabel 3. 3</b> Spesifikasi driver motor DC .....	19
<b>Tabel 3. 4</b> Spesifikasi sensor CMPS10 dan LDR .....	20
<b>Tabel 3. 5</b> Spesifikasi Arduino Mega 2560 .....	21
<b>Tabel 3. 6</b> Tabel input dan <i>output</i> sistem .....	31
<b>Tabel 3. 7</b> Parameter variabel <i>output</i> sistem sebagai berikut,.....	33
<b>Tabel 3. 8</b> Rule base 3 MF .....	33
<b>Tabel 4. 1</b> Kalibrasi sensor CMPS10 sudut <i>pitch</i> .....	39
<b>Tabel 4. 2</b> Kalibrasi sensor CMPS10 sudut <i>yaw</i> .....	40
<b>Tabel 4. 3</b> Performansi respon sistem .....	47

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## DAFTAR NOTASI

$m(t)$	: Sinyal <i>output</i> kendali PI
$K_p$	: Konstanta proporsional
$e(t)$	: Sinyal kesalahan ( <i>error</i> )
$T_i$	: Waktu integral
$K_i$	: Konstanta integral
$M_{(s)}$	: <i>Input set point</i> sistem <sub>domain laplace</sub>
$E_{(s)}$	: <i>Error</i> sistem <sub>domain laplace</sub>
$n$	: Hari dalam setahun ( 1 tahun = 365 hari )
$\beta$	: <i>Surface slope</i>
$\gamma$	: <i>Surface azimuth</i>
$\gamma_s$	: Sudut <i>azimuth</i> matahari
$\theta_z$	: Sudut <i>zenith</i>
$\delta$	: Sudut <i>deklinasi</i>
$\omega$	: Sudut jam
$\phi$	: Lintang
$V$	: Tegangan <i>input</i> motor (V)
$R_a$	: Resistansi armatur (R)
$L_a$	: Induktansi armatur (H)
$I_a$	: Arus armatur (A)
$E_b$	: <i>Back emf</i> (V)
$\omega$	: Kecepatan angular (rad/s)
$T_m$	: Torsi motor (Nm)
$J_m$	: Inersia motor (Nm.s <sup>2</sup> )
$B_m$	: Konstanta peredaman (Nm.s/rad)
$K_t$	: Konstanta torsi (Nm/A)
$K_b$	: Konstanta <i>emf</i> motor (Vs/rad)
$\hat{H}$	: Histerisis
$t_r$	: <i>Rise time</i>
$t_d$	: <i>Delay time</i>
$t_p$	: <i>Peak time</i>
$t_s$	: <i>Settling time</i>

$M_p$	: <i>Maximum overshoot</i>
$e_{ss}$	: <i>Error steady state</i>
$n$	: Elemen penyusun grafik(trapesium)
$t$	: Waktu
$P_{max}$	: Daya maksimum photovoltaik
$V_{mp}$	: <i>Maksimum power voltage</i>
$I_{mp}$	: <i>Amperage</i>
$V_{oc}$	: Tegangan <i>open circuit</i>
$I_{sc}$	: Arus <i>short circuit</i>
AM	: <i>Air Mass</i>

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia berada pada kondisi geografis yang terletak pada garis khatulistiwa memungkinkan potensi energi matahari yang besar. Wilayah Indonesia yang selalu dilintasi matahari dalam perolehannya mampu menerima energi surya mencapai  $4,80 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$  [1]. Fakta tersebut menunjukkan bahwa prospek pemanfaatan energi surya yang tidak berlimbah dan ramah lingkungan dapat dijadikan upaya untuk memaksimalkan pemanfaatan energi baru terbarukan melalui Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Pemanfaatan energi matahari yang digunakan untuk pembangkit tenaga listrik diperkirakan akan tumbuh relatif tinggi dari tahun 2013-2050 meningkat 18% [1].

PLTS menggunakan teknologi *photovoltaic* sebagai perangkat utama untuk mengonversi energi matahari menjadi energi listrik. Efisiensi teknologi konversi energi matahari menjadi energi listrik oleh *photovoltaic* masih mencapai sekitar 14-20% [2]. Permasalahan utama dalam kerja operasional sistem tersebut terletak pada *photovoltaic* yaitu efisiensi yang masih cukup rendah sehingga dibutuhkan komponen penyusun *photovoltaic* yang mampu mencukupi daya yang diinginkan. Konsekuensinya *photovoltaic* diusahakan untuk selalu mengeluarkan daya yang optimum agar efisiensinya tidak semakin berkurang. Upaya mengatasi permasalahan tersebut adalah *photovoltaic* harus mampu selalu mengikuti arah datangnya sinar matahari untuk memperoleh energi maksimum yang akan diserap. Apabila tidak mencapai akurasi yang tepat, maka penurunan penyerapan energi dapat terjadi [3]. Salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi konversi energi *photovoltaic* adalah dengan menambahkan sistem penjejak matahari (*solar tracker*) dalam operasionalnya. Sistem penjejak matahari mampu memastikan *photovoltaic* untuk dapat bergerak mengikuti pergerakan matahari pada kondisi tertentu, sehingga *photovoltaic* dapat mengarah tegak lurus terhadap sudut jatuhnya sinar matahari untuk memaksimalkan efisiensi konversi energy [2].

Penelitian sebelumnya telah dilakukan implementasi kendali *dual Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)* pada sistem penjejak matahari dua posisi untuk meningkatkan performansi *photovoltaic*. Hasil dari penelitian tersebut adalah diperoleh penambahan mode kombinasi pasif dan aktif. Mode aktif digunakan untuk kondisi cuaca cerah dan mode pasif digunakan untuk kondisi cuaca mendung. Implementasi kendali ANFIS pada *solar tracker* sudut *pitch* menghasilkan indeks performansi *time constant* sebesar 4.9596 s, *rise time* 7.848 s, *peak time* 8 s, *maximum overshoot* 0.005, dan *setling time* 8 s. Sedangkan pada sudut *yaw* menghasilkan indeks performansi *time constant* sebesar 2.33 s, *rise time* 3.683 s, *peak time* 4 s, *maximum overshoot* 0.122, dan *setling time* 4 s. Peningkatan daya listrik dari kondisi *photovoltaic fix based* sebesar 3.435299 Watt atau sekitar 17.51963% [4]. Saran dari penelitian tersebut memerlukan pengembangan dengan menggunakan metode kendali lain agar didapatkan error sistem yang kecil. Kelemahan dari penelitian tersebut adalah sistem solar tracker terletak pada *photovoltaic fix based* dan belum dikembangkan apabila diterapkan pada *mobile based*. Penelitian tentang *mobile solar tracker* belum banyak berkembang. Salah satu penelitian yang ada membahas tentang *advanced control* pada *solar tracker* yang diletakkan diatas kapal yang sedang bergerak menggunakan *adaptive wide range ANFIS*. Hasil dari penelitian tersebut diperoleh sistem *tracker* yang mampu menjaga akurasi titik fokus terhadap sinar matahari yang dipengaruhi oleh gangguan perubahan posisi kapal dari sumber cahaya dengan error akurasi 0,0028% [5].

Penelitian tugas akhir ini didukung oleh penelitian-penelitian sebelumnya yaitu sistem *solar tracker* pada landasan diam (*fix based*) dan diatas kapal yang bergerak (*mobile based*). Sistem *mobile based solar tracker* pada kapal besar mampu menyesuaikan dengan arah datangnya sinar matahari meskipun ketika kapal tersebut sedang bergerak. Kelemahan sistem *mobile based solar tracker* tersebut yaitu tidak dilengkapi pengendalian mode pasif yang mampu menutupi kekurangan dari pengendalian mode aktif yaitu tidak bisa mengikuti arah matahari pada kondisi cuaca mendung. Kelemahan ini mendorong penulis untuk melakukan penelitian dalam tugas akhir ini

yaitu dengan mengkombinasikan *active-passive mobile solar tracker* pada *mobile based photovoltaic* menggunakan kendali Fuzzy-PI. Sistem kendali PI merupakan kendali linier sedangkan gangguan pada *mobile active-passive solar tracker* adalah non linier, sehingga dibutuhkan metode penalaan mandiri yaitu metode fuzzy agar sistem kendali PI dapat bekerja optimal dalam kondisi non linier. Pada penelitian ini metode fuzzy digunakan untuk menentukan parameter kendali PI yaitu  $K_p$  dan  $K_i$  pada sistem tersebut.

## 1.2 Permasalahan

Berdasarkan latar belakang maka permasalahan yang diangkat dalam pengerjaan tugas akhir ini, yaitu :

- Bagaimana menentukan parameter kendali Fuzzy-PI pada *combined active-passive solar tracker sistem* yang diimplementasikan pada *mobile based photovoltaic* ?
- Apakah menggunakan kendali Fuzzy-PI pada *combined active-passive solar tracker sistem* yang diimplementasikan pada *mobile based photovoltaic* mampu menunjukkan respon yang baik?
- Berapakah peningkatan efisiensi yang mampu diperoleh *mobile based photovoltaic* menggunakan kendali Fuzzy-PI pada *combined active-passive solar tracker sistem* ?

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah :

- Variabel yang dikendalikan yaitu sudut *pitch* dan sudut *yaw*
- Metode Kontrol yang digunakan yaitu Fuzzy-PI
- Model sensor yang digunakan adalah sensor LDR dengan komposisi 2 LDR untuk sudut *pitch* dan 2 LDR untuk sudut *yaw* sebagai *active solar tracker*. Sensor CMPS10 dan GPS sebagai *passive solar tracker*.
- Menggunakan 2 aktuator berupa motor DC.
- Photovoltaic yang digunakan adalah jenis monokristalin dengan daya 100 WP.
- Mikrokontroler yang digunakan menggunakan Arduino Mega 2560.

### 1.4 Tujuan Tugas Akhir

Tujuan penelitian yang ingin dicapai dalam pengerjaan tugas akhir ini antara lain.

- a. Menentukan parameter kendali Fuzzy-PI pada *combined active-passive solar tracker sistem* yang diimplementasikan pada *mobile based photovoltaic*.
- b. Mendapatkan respon sistem yang baik menggunakan kendali Fuzzy-PI pada *combined active-passive solar tracker sistem* yang diimplementasikan pada *mobile based photovoltaic*.
- c. Memperoleh peningkatan efisiensi maksimum *mobile based photovoltaic* menggunakan kendali Fuzzy-PI pada *combined active-passive solar tracker sistem* ?

## BAB II

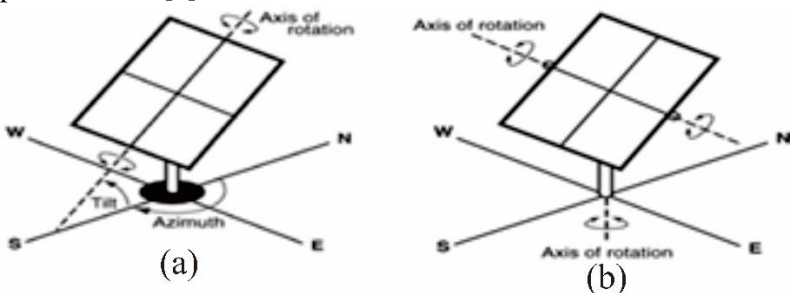
### DASAR TEORI

#### 2.1 Solar Tracker

*Solar tracker* atau penjejak matahari merupakan suatu piranti elektromekanik yang bekerja untuk mengendalikan orientasi bidang photovoltaik (PV) terhadap perubahan arah gerak matahari sehingga menjaga PV tersebut agar selalu tegak lurus dengan arah datangnya sinar matahari. Kondisi tersebut bertujuan untuk menjaga perolehan radiasi matahari yang maksimum bagi photovoltaik. Dalam aplikasinya cara kerja *solar tracker* dibagi menjadi tiga yaitu berdasarkan sumbu penjejakan, mekanisme penjejakan, dan metode kendali penjejakan.

##### 2.1.1 Solar Tracker Berdasarkan sumbu penjejakan

*Solar tracker* yang bekerja berdasarkan sumbu penjejakan dibedakan menjadi dua yaitu *single-axis* dan *dual-axis*. *Single-axis solar tracker* bekerja sebagai penjejak matahari sumbu tunggal dengan mengubah sudut *pitch* (dari timur ke barat) photovoltaik sesuai perubahan sudut elevasi matahari. Sedangkan *dual axis solar tracker* bekerja sebagai penjejak matahari dua sumbu dengan mengubah sudut *pitch* dan sudut *yaw* (dari utara ke selatan) photovoltaik. [1]



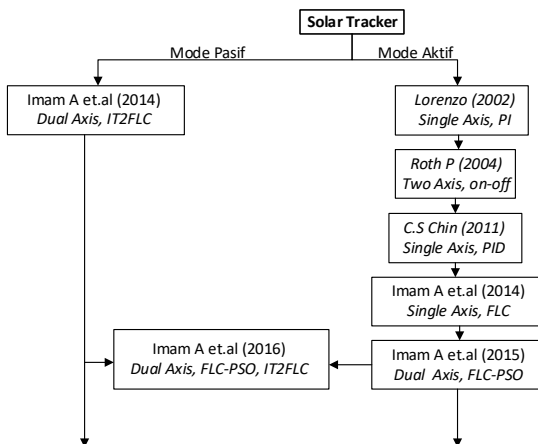
**Gambar 2. 1** *Solar tracker (a) single-axis dan (b) dual axis* [1]

### 2.1.2 Solar Tracker Berdasarkan mekanisme Penjejakan

Terdapat dua mekanisme penjejakan yang dirancang, diimplementasikan dan dikembangkan oleh para peneliti yaitu metode aktif dan metode pasif. Prinsip kerja aktif *solar tracker* dalam proses penjejakan pada umumnya menggunakan sensor yang mampu mendeteksi posisi matahari akibat perubahan intensitas cahaya dan radiasi matahari. Sedangkan pasif *solar tracker* dalam proses penjejakannya tidak melakukan pengukuran baik intensitas cahaya maupun radiasi matahari melainkan menggunakan perhitungan astronomi sebagai dasar teknik penjejakannya. Pada umumnya letak perbedaan aktif dan pasif *solar tracker* adalah saat penggunaannya, dimana aktif *solar tracker* digunakan ketika cuaca sedang cerah, sedangkan pasif *solar tracker* digunakan ketika cuaca sedang mendung atau berawan.

### 2.1.3 Solar Tracker berdasarkan Metode Kendali

Penggunaan metode kendali dalam aplikasi solar tracker saat ini telah banyak berkembang mulai dari penerapan kendali konvensional hingga *Artificial Intelligent (AI)*.



**Gambar 2. 2** Roadmap penelitian tentang solar tracker [2]



Dari gambar 2.2 diperoleh informasi bahwa pada waktu 20 tahun lalu sudah berkembang teknologi tentang solar tracker, awalnya masih menggunakan metode kendali konvensional seperti *on/off* dan PID, namun saat ini sudah merambat ke penggunaan kendali AI, seperti *Fuzzy Logic Controller (FLC)*, *Particle Swarm Optimization (PSO)*.

## 2.2 Metode Kendali Fuzzy-PI

Suatu sistem kontrol yang baik harus mempunyai ketahanan terhadap *disturbance* dan respon yang cepat serta akurat. Dalam kontrol PID sering terjadi permasalahan pada sistem pengendalian konvensional ini. Pasalnya jika dibuat sensitive, maka respon sistem terhadap *disturbance* menghasilkan overshoot yang tinggi sehingga memungkinkan terjadi osilasi yang besar. Begitu pula sebaliknya, jika dibuat kurang sensitive, akan menghasilkan overshoot yang kecil tetapi membutuhkan *settling time* yang panjang. Oleh karena itu, pengendalian konvensional perlu disupervisi oleh pengendalian *artificial intelligent (AI)* yang mana akan digunakan dalam penelitian ini yaitu kendali Fuzzy-PI.

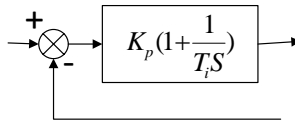
### 2.2.1 Kendali PI (Proportional Integral)

Metode kendali PI merupakan suatu metode kendali yang berasal dari gabungan metode kendali *Proportional* dan *Integral*, dimana masing-masing kendali memiliki kelebihan dan kekurangan sehingga dengan penggabungan metode tersebut diharapkan kelemahan tersebut dapat terisi oleh kelebihan metode yang lain. Pengendalian proporsional berfungsi untuk mempercepat respon *output* sistem mencapai *set point*. Sedangkan pengendalian *integral* berfungsi untuk menghilangkan *offset*, sehingga pengendalian PI memiliki karakteristik menghilangkan *offset*, mempercepat proses, tetapi menimbulkan osilasi. Aksi kontrol PI didefinisikan sebagai persamaan berikut,

$$m(t) = K_p \cdot e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt \quad (2.1)$$

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i S} \right) \quad (2.2)$$

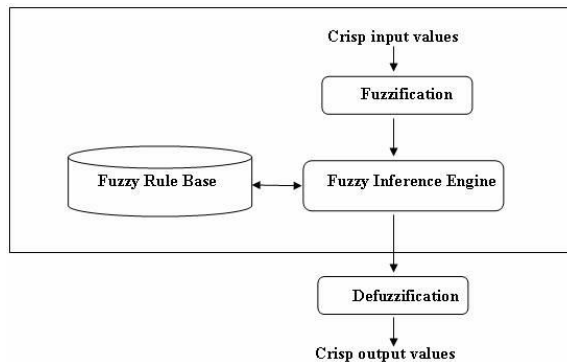
Sehingga kontrol PI memiliki karakteristik menghilangkan *offset*, mempercepat proses, tetapi menimbulkan osilasi.



**Gambar 2. 3** Diagram Blok Kendali PI

### 2.2.2 Fuzzy Logic Controller

*Fuzzy Logic Controller (FLC)* merupakan cabang dari sistem kecerdasan buatan (*Artificial Intellingent*) yang mengemulsi kemampuan manusai dalam berfikir menjadi bentuk algoritma yang kemudian dijalankan oleh mesin. Logika fuzzy adalah hasil interpretasi statemen yang samar menjadi sebuah pengertian yang logis. Dasar struktur logika *fuzzy* dapat digambarkan pada gambar 2.4



**Gambar 2. 4** Cara kerja logika fuzzy [3]

Sistematika fuzzy logic controller secara sederhana terdapat beberapa tahapan, yaitu *input* → *fuzzy inference system* → *output*. Input logika fuzzy merupakan tahapan awal berupa himpunan crisp

(bilangan real). Fungsi dari bagian-bagian diatas adalah sebagai berikut:

- ***Input***

Masukkan pada *fuzzy logic* berupa *crisp* (variabel fisis) atau bilangan *real*.

- ***Fuzzification***

Himpunan *fuzzy* merupakan suatu pengembangan lebih lanjut tentang konsep himpunan dalam matematika. Himpunan *fuzzy* adalah rentang nilai-nilai. Masing-masing nilai mempunyai derajat keanggotaan (*membership*) antara 0 sampai dengan 1. Kolom fuzzifikasi mengkonversi *crisp* (variabel fisis) menjadi suatu bilangan *fuzzy* (variabel linguistik) menggunakan operator fuzzifikasi. Bagian fuzzifikasi yang berguna untuk memetakan adalah fungsi keanggotaan (*membership function*) yang terdiri dari berbagai macam bentuk yakni segitiga, *gaussian*, trapesium, dan *bell*.

- ***Rule Base dan Fuzzy Inference Engine***

Berisi aturan-aturan dasar yang mendefinisikan himpunan *fuzzy* atas daerah-daerah *input* dan *output* serta sebagai acuan sistem. Aturan dasar ini menggunakan persamaan *IF – THEN*. Untuk mendapatkan aturan “*IF-THEN*” ada dua cara utama :

- Menanyakan ke operator manusia yang dengan cara manual telah mampu mengendalikan sistem tersebut, dikenal dengan “*human expert*”.
- Dengan menggunakan algoritma pelatihan berdasarkan data-data masukan dan keluaran.

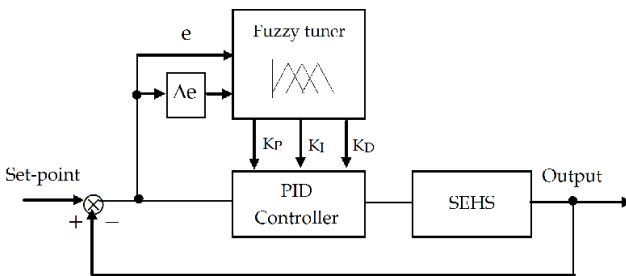
*Inference engine* merupakan proses implikasi dalam menalar nilai masukkan untuk menentukan nilai keluaran sebagai bentuk pengambil keputusan.

- ***Defuzzification***

Keputusan yang dihasilkan dari proses penalaran masih dalam bentuk *fuzzy*, yaitu berupa derajat keanggotaan. Hasil ini harus diubah kembali menjadi variabel numerik *non fuzzy* (*crisp*) melalui proses defuzzifikasi.

### 2.2.3 Kendali Fuzzy-PI

Dalam penelitian ini sistem dikendalikan menggunakan metode kendali Fuzzy-PI, dimana kendali utama adalah kendali PI yang disupervisi dengan logika fuzzy. Logika fuzzy bekerja membantu dalam menentukan parameter  $K_p$  dan  $K_i$  yang terbaik untuk meminimalkan *overshoot* maupun *undershoot* yang terjadi dan juga meminimalkan *recovery time* dari respon sistem. Penjelasan singkat dapat dilihat pada gambar 2.5

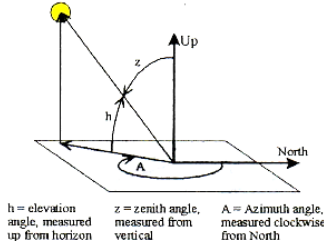


**Gambar 2. 5** Diagram blok kendali Fuzzy-PI [4]

### 2.3 Posisi Matahari01

Posisi matahari ditentukan menggunakan garis koordinat horisontal bumi terhadap sudut *azimuth*, sudut *elevasi*, dan sudut *zenith*. Dalam menghitung ketiga sudut tersebut dipengaruhi oleh tiga aspek, yaitu sudut deklinasi, *hour angle*, dan posisi lintang pada bumi. Sudut deklinasi ( $\delta$ ) merupakan sudut antara garis proyeksi pada bidang equator yang menghubungkan pusat matahari dengan pusat bumi pada range  $-23,45^\circ$  sampai  $23,45^\circ$ . Hour angle ( $\omega$ ) merupakan sudut yang dibentuk akibat rotasi bumi terhadap matahari, dimana bumi berotasi  $360^\circ$  dalam kurun waktu 24 jam sehingga nilai hour angle sebesar  $15^\circ/\text{jam}$ .

Penentuan posisi matahari dapat dilakukan menggunakan beberapa persamaan. Persamaan yang digunakan untuk mencari posisi matahari adalah sudut elevasi ( $h$ ), sudut zenith ( $z$ ), sudut azimuth ( $A$ ). Berikut persamaan-persamaan yang digunakan dalam menentukan posisi matahari.



**Gambar 2. 6** Posisi matahari terhadap garis koordinat horisontal bumi [3]

Sudut datang (elevasi) :

$$\theta = \cos^{-1} [\cos \theta_z \cos \beta + \sin \theta_z \sin \beta \cos (\gamma_s - \gamma)] \quad (2.3)$$

Sudut zenith :

$$\theta_z = \cos^{-1} [\sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega] \quad (2.4)$$

Sudut azimuth :

$$\gamma_s = \sigma_{ew} \sigma_{ns} \gamma_{so} + \left( \frac{1 - \sigma_{ew} \sigma_{ns}}{2} \right) \sigma_w 180^\circ \quad (2.5)$$

dimana :

$$\gamma_{so} = \sin^{-1} \left( \frac{\sin \omega \cos \delta}{\sin \theta_z} \right) \quad (2.6)$$

$$\sigma_{ew} = 1 \text{ if } |\omega| < \omega_{ew} \\ -1 \text{ otherwise}$$

$$\sigma_{ns} = 1 \text{ if } \phi (\phi - \delta) \geq 0 \\ -1 \text{ otherwise}$$

$$\sigma_w = 1 \text{ if } \omega \geq 0 \\ -1 \text{ otherwise}$$

$$\omega_{ew} = \cos^{-1} (\cos \phi \tan \delta) \quad (2.7)$$

Sudut Deklinasi :

$$\delta = 23.45 \sin [360(284+n)/365] \quad (2.8)$$

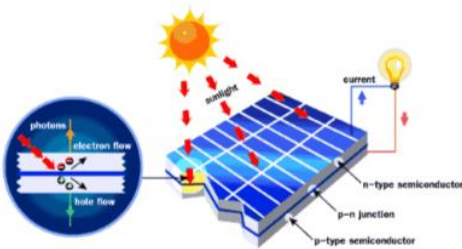
dimana  $n$  adalah bilangan hari yang ditentukan dengan aturan sebagai berikut,

**Tabel 1. 1** Nilai  $n$  penentuan sudut deklinasi

Bulan	$n$ (tanggal-i)	Bulan	$n$ (tanggal-i)
Januari	$i$	Juli	$181 + i$
Februari	$31 + i$	Agustus	$212 + i$
Maret	$59 + i$	September	$243 + i$
April	$90 + i$	Oktober	$273 + i$
Mei	$120 + i$	November	$304 + i$
Juni	$151 + i$	Desember	$334 + i$

**2.4 Photovoltaic**

*Photovoltaic (PV)* merupakan sebuah modul pembangkit tenaga listrik yang tersusun dari sel surya yang dirangkai secara seri-paralel. Prinsip kerja sel surya adalah memanfaatkan efek photovoltaik dengan bahan yang terbuat dari silikon semikonduktor sehingga mampu mengubah energi radiasi matahari (foton) menjadi listrik arus searah (DC).

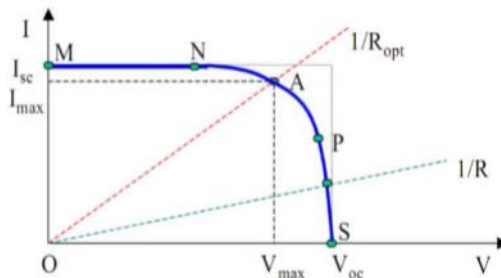


**Gambar 2. 7** Prinsip Kerja Sel Surya [5]

Gambar 2.5 menunjukkan proses penyerapan cahaya matahari oleh ser surya. Dimana sinar matahari (foton) mengenai permukaan sel surya kemudian sinar matahari ada yang dipantulkan dan dilewatkan dimana elektron dibebaskan dari ikatannya oleh foton dengan tingkatan energi tertentu. Pergerakan elektron tersebut menghasilkan arus listrik yang mengalir.

### 2.4.1 Karakteristik *Photovoltaic*

*Photovoltaic* merupakan alat yang bersifat non-linear. Untuk memahami karakteristiknya diunakan suatu grafik. Berdasarkan kurva arus ( $I$ ) dan tegangan ( $V$ ) yang dihasilkan dapat diketahui sifat elektrik dari sel *photovoltaic* tersebut. Gambar 2.8 menunjukkan ketika sel dihubungkan dengan beban ( $R$ ). Beban memberi hambatan sebagai garis linear dengan gari  $I/V = I/R$ ., sehingga menunjukkan daya yang dihasilkan bergantung pada nilai resistansi. Jika  $R$  kecil maka sel beroperasi di daerah kurva MN, dimana sel beroperasi sebagai sumber arus yang konstan atau arus *short circuit*. Jika  $R$  besar maka sel beroperasi di daerah kurva PS, dimana sel beroperasi sebagai sumber tegangan yang konstan atau tegangan *open-circuit*. Jika dihubungkan dengan hambatan optimal ( $R_{opt}$ ) maka sel surya akan menghasilkan daya maksimal dengan tegangan dan arus yang maksimal.

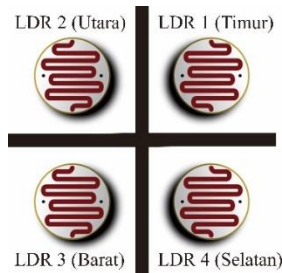


**Gambar 2. 8** Kurva I-V *Photovoltaic* [1]

### 2.5 *Light Dependent Resistor (LDR)*

Sensor LDR merupakan jenis resistor yang mengalami perubahan nilai resistansi terhadap besar intensitas cahaya yang diterimanya. Kondisi gelap atau cahaya kurang menyebabkan nilai resistansi dari LDR semakin besar, sedangkan dalam kondisi cahaya terang nilai resistansinya menjadi semakin kecil. Penggunaan sensor LDR terdapat pada aktif solar tracker, dimana menggunakan empat buah LDR yang diletakkan di empat titik

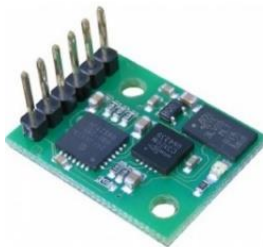
acuan berbeda-beda dan diantara keempat LDR tersebut terdapat pemisah yang biasa disebut balancer. Tujuannya adalah untuk mendeteksi perubahan gerak matahari.



**Gambar 2. 9** Letak 4 buah sensor LDR

## 2.6 Sensor CMPS10

Sensor CMPS10 merupakan suatu modul sensor yang terdiri dari magnetometer 3-axis, dan accelerometer 3-axis. Pada solar tracker ini modul sensor CMPS10 digunakan sebagai pengindera posisi aktual dari *photovoltaic* pada sudut *yaw* dan *pitch*. *Output* pengukuran sudut *pitch* memiliki nilai rentang sebesar  $-90^{\circ}$  sampai  $90^{\circ}$  dengan resolusi pengukuran hingga  $1^{\circ}$ . Sedangkan sudut *yaw* memiliki range pengukuran sebesar  $0^{\circ}$  sampai  $359,9^{\circ}$  dengan resolusi pengukuran hingga  $0,1^{\circ}$ . Msensor ini juga dilengkapi dengan fitur *auto calibration* untuk mereset ulang standar kalibrasinya. Hal ini perlu dikalibrasi karena untuk menghilangkan offset yang diakibatkan oleh sumber elektromagnetik disekitar objek pengukuran.

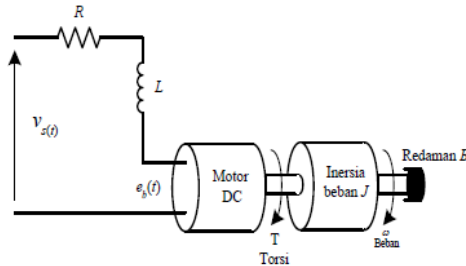


**Gambar 2. 10** Modul Sensor CMPS10 [6]



## 2.7 Motor DC

Motor DC merupakan aktuator yang digunakan pada sistem *solar tracker*. Motor berfungsi sebagai penggerak panel surya pada satu sumbu maupun dua sumbu. Satu sumbu cukup menggunakan satu motor DC dan dua sumbu menggunakan dua motor DC. Penggunaan Motor DC mempunyai beberapa kelebihan yaitu rpm (rotation per minute) yang tinggi, torsi besar, dan aplikasi daya yang cukup rendah dan performansi yang linier tergantung spesifikasi motor DC. Gambar 2.11 menunjukkan model motor DC.



**Gambar 2. 11** Model motor DC [7]

Menurut hukum Tegangan Kirchoff [2]

$$V(t) = R_a \cdot I_a(t) + L_a \cdot \frac{dI_a(t)}{dt} + E_m(t) \quad (2.9)$$

Dimana  $V$  adalah tegangan yang diaplikasikan ke motor

$$E_b(t) = K_b \cdot \omega(t) \quad (2.10)$$

Torsi yang dihasilkan oleh motor sebanding dengan arus. Menurut Hukum Newton Kedua (rotasi) :

$$T_m(t) = J \frac{d\omega(t)}{dt} + B_m \cdot \omega(t) \quad (2.11)$$

Dimana  $T_m$  adalah torsi motor

$$T(t) = K_t \cdot I_a(t) \quad (2.12)$$

Persamaan (2.9) dan (2.10) menggambarkan perilaku dinamis dari motor. Dari persamaan (2.9), (2.10), (2.11) dan (2.12) diperoleh persamaan sebagai berikut,

$$V_a(t) = R_a \cdot I_a(t) + L_a \frac{dI_a(t)}{dt} + K_b \cdot \omega(t) \quad (2.13)$$

$$K_t \cdot I_a(t) = J_m \frac{d\omega(t)}{dt} + B_m \cdot \omega(t) \quad (2.14)$$

Transformasi *Laplace* dari persamaan (2.13) dan (2.14) yaitu

$$V_a(s) = R_a \cdot I_a(s) + L_a \cdot I_a(s)S + K_b \cdot \omega(s) \quad (2.15)$$

$$K_t \cdot I_a(s) = J_m \cdot \omega(s)S + B_m \cdot \omega(s) \quad (2.16)$$

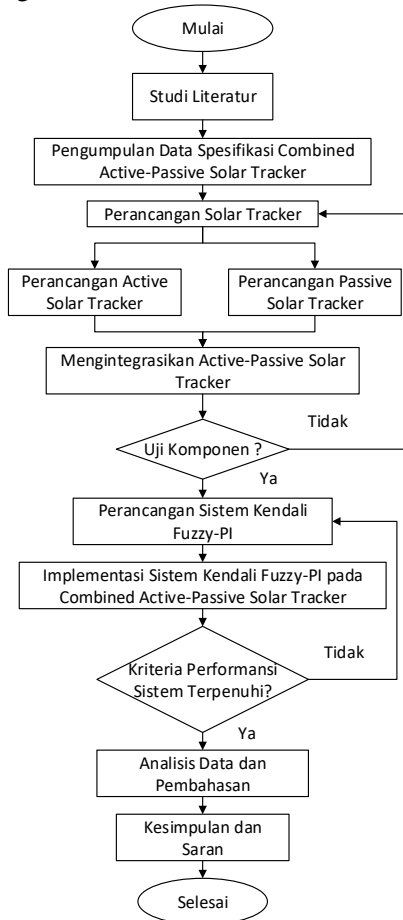
Jika arus didapatkan dari persamaan (2.14) dan disubstitusikan ke persamaan (2.12) maka

$$V_a(s) = \omega(s) \cdot \frac{1}{K_t} \cdot [L_a \cdot J_m \cdot S^2 + (R_a \cdot J_m + L_a \cdot B_m)S + (R_a \cdot B_m + K_b \cdot K_t)] \quad (2.13)$$

### BAB III

## METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian yang dilakukan dalam pengerjaan tugas akhir ini secara runtut dan terstruktur berdasarkan diagram alir pada Gambar 3.1 sebagai berikut:



**Gambar 3. 1** Diagram alir pengerjaan penelitian

### 3.1 Studi Literatur

Pencarian referensi teori baik yang bersumber dari buku (*handbook*), jurnal ilmiah, dan penelitian sebelumnya seperti tesis dan disertasi yang relevan dengan topik permasalahan dibutuhkan sebagai pembelajaran guna menunjang proses pengerjaan serta pengembangan pada penelitian ini. Selain itu poin pembaruan dan originalitas menjadi acuan alasan untuk melakukan kajian pustaka secara teliti dan mendalam khususnya aplikasi metode pengendali baik konvensional maupun *artificial intelligent (AI)* yang diimplementasikan pada *solar tracking system*.

### 3.2 Pengumpulan Data Spesifikasi

Data spesifikasi masing-masing komponen dibutuhkan dalam penelitian tugas akhir ini tujuannya adalah agar mempermudah pengerjaan dalam rancang bangun sistem *combined active-passive solar tracker*. Data tersebut dapat berupa parameter mekanik, misalnya dimensi rangka solar tracker, momen inersia dan torsi beban serta parameter elektrik misalnya spesifikasi PV, kontroler, motor DC, sensor LDR dan CMPS10.

#### 3.2.1 Spesifikasi PV

Adapun PV yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini dengan spesifikasi sebagai berikut,

**Tabel 3. 1** Spesifikasi Panel PV

<b>Karakteristik Solar Panel Monokristalin (ST SOLAR)</b>		
	<b>PV Track</b>	<b>PV Fixed</b>
Type	100-36M	-
Pmax	100 W	100 W
Vmp	17,8 V	17,8 V
Imp	5,62 A	5,62 A
Voc	21,5 V	21,8 V
Isc	6,07 A	6,07 A
Dimensi	(1200x540x30)	(1200x540x30)
	mm	mm
	AM=1,5E = 1000 W/m <sup>2</sup> ; TC= 25 °C	

PV yang digunakan ada dua buah, yaitu satu sebagai PV tracker yang dipasang pada combined active-passive solar tracker, dan yang satu lagi sebagai PV yang diletakkan pada fixed based.

### 3.2.2 Aktuator (Motor DC)

Aktuator yang digunakan adalah motor DC, dimana terdapat dua motor DC yang berfungsi sebagai penggerak panel surya berdasarkan dua sudut yaitu sudut *pitch* dan sudut *yaw*. Dalam proses operasional motor DC memerlukan driver motor yang berfungsi sebagai pengatur arah dan kecepatam (PWM) motor. Berikut spesifikasi yang terdapat pada motor DC dan driver motor tersebut.

**Tabel 3. 2** Spesifikasi motor DC

<b>DC Motor Built-in Gearbox</b>		
	<b>Motor <i>Pitch</i></b>	<b>Motor <i>Yaw</i></b>
Working Voltage	DC 12V ~ 24V	DC 12V ~ 24V
Arus	2 A	7 A
Speed	39 – 56 rpm	22 rpm
Torsi	15 Kg.cm	25 Kg.cm
Dimensi body (cm)	P = 8,5 x d = 3,5	P = 10 x d = 6
Dimensi Shaft (cm)	P = 5 x d = 0,8	P = 3 x d = 0,5
Berat	293 gr	0.7 Kg

**Tabel 3. 3** Spesifikasi driver motor DC

<b>Driver Motor DC 15A Mosfet Dual H-Bridge</b>	
Vmotor	36 VDC (max)
Arus	15A (max)
Kontrol logic TTL	3 – 5 VDC
Pins	6 pins (4 pin directions and 2 pins PWM)
Max motor	2 motor DC
Dimensi	10 x 7 cm
Support: PWM/PID/Fuzzy/Fuzzy PID	

### 3.2.3 Sensor (Sensor LDR, CMPS10, Tegangan, dan Arus)

*Sensing element* yang digunakan ada empat jeni, yaitu sensor LDR yang beroperasi saat mode aktif solar tracker dan sensor CMPS10 di mode pasif solar tracker. Sensor Arus ACS712-20 dan sensor tegangan digunakan untuk mengukur *output photovoltaic*. Berikut spesifikasi masing-masing sensor,

**Tabel 3. 4** Spesifikasi sensor CMPS10 dan LDR

<b>Sensing Element</b>	
<b>Sensor CMPS10</b>	
Resolusi Sudut <i>pitch</i>	1°
Resolusi Sudut <i>yaw</i>	0.1°
<i>Input Voltage</i>	DC 3,6 – 5 V
<i>Current Max</i>	25 mA
<i>Output interface</i>	I2C / PWM / Serial
<b>Sensor LDR</b>	
Dimensi	4 mm
<b>Sensor Arus ACS712-20A</b>	
<i>Optimized Accuracy Range (<math>I_p</math>)</i>	-20 – 20 A
<i>Sensitivity</i>	96 – 104 mV/A
<i>Power</i>	5 VDC
<b>Sensor Tegangan</b>	
<i>Voltage Input Range</i>	0 – 25 VDC
<i>Voltage Detection Range</i>	0.2445 – 25 VDC
<i>Voltage Analog Resolution</i>	0.00489 V

### 3.2.4 Kontroler (Arduino Mega 2560)

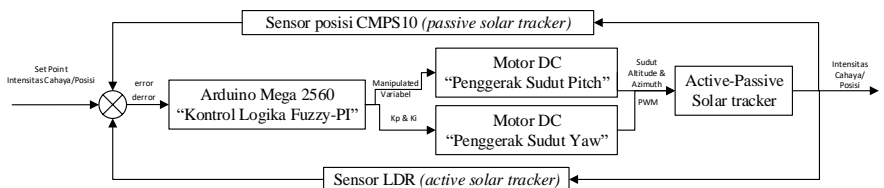
Adapun kontroler yang digunakan adalah mikrokontroler arduino mega2560 dengan spesifikasi sebagai berikut yang ditunjukkan pada tabel 3.5,

**Tabel 3. 5** Spesifikasi Arduino Mega 2560

Chip mikrokontroler	Atmega 2560
Tegangan operasi	5V
Tegangan input (rekomendasi, via jack DC)	7V - 12V
Tegangan input (limit, via jack DC)	6V - 20V
Digital I/O pin	54buah, 6 diantaranya PWM <i>output</i>
Analog input pin	16 buah
Arus DC per pin I/O	20 mA
Arus DC pin 3.3V	50 mA
Memori Flash	256KB, 8KB digunakan bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock speed	16 Mhz
Dimensi	101.5 mm x 53.4 mm
Berat	37 g

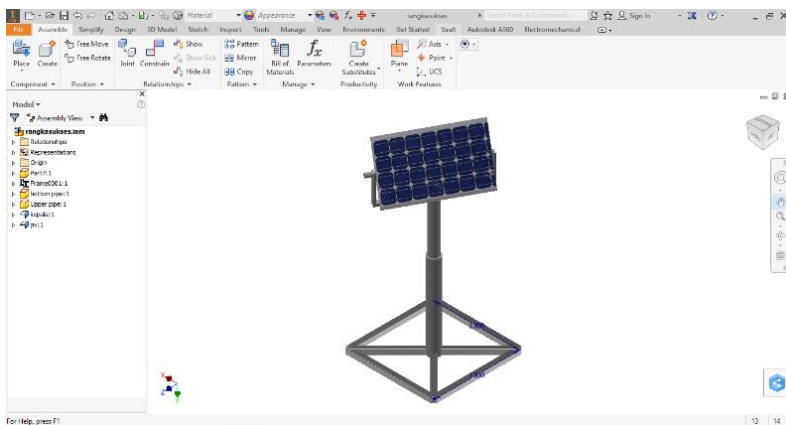
### 3.3 Perancangan *Solar Tracker*

Pada tahap perancangan *solar tracker* secara garis besar bekerja sesuai diagram blok sistem berikut,

**Gambar 3. 2** Diagram Blok Sistem Pengendalian *Solar Tracker*

Pada dasarnya alat ini terdiri dari sistem mekanik dan elektrik (elektromekanik). Sistem mekanik sebagian besar dikerjakan di bengkel sesuai desain pada gambar 3.3, sedangkan sistem elektriknya dirancang sendiri sesuai kebutuhan yang telah dirancang. *Combined active-passive solar tracker* menggunakan dua input sensor, yaitu sensor LDR dan sensor posisi CMPS10. Sensor bekerja secara bergantian (*switching*) sesuai kondisi cuaca dan ketentuan dalam program yang dibuat pada kontroler. Posisi panel dijaga sesuai setpoint yang diinginkan menggunakan dua motor DC sebagai aktuator dengan tujuan agar panel PV selalu tegak lurus menghadap matahari sehingga intensitas yang diterima PV optimal dan menghasilkan energi maksimum. Metode kendali yang digunakan adalah kendali fuzzy-PI, dimana nilai *output* fuzzy menentukan besar nilai *output*  $K_p$  dan  $K_i$ .

Setelah memahami garis besar kerja sistem, kemudian dimulai dengan mendesain *solar tracker* secara terukur. Desain tersebut dibuat menggunakan *software Autodesk Inventor Professional 2017*. Berdasarkan desain tersebut, maka dibuatlah hardware kerangka solar tracker yang ditunjukkan pada gambar 3.3 sebagai berikut,



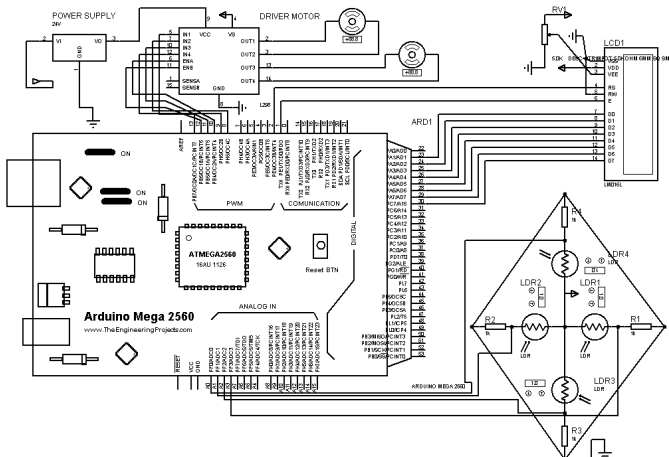
**Gambar 3. 3** Desain perancangan *solar tracker*





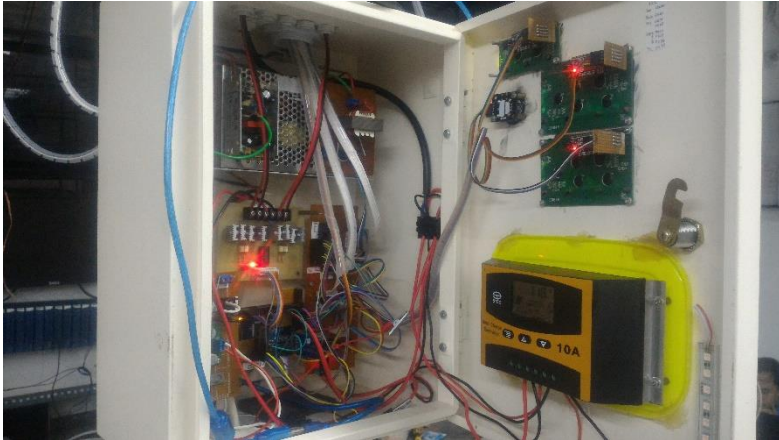
**Gambar 3. 4** Kerangka *solar tracker* (a) sebelum, dan (b) sesudah *packaging*

Setelah kerangka jadi, kemudian dirancang sistem wiring elektriknya menggunakan software proteus untuk disimulasikan agar dapat mengetahui rangkaian ini mampu beroperasi atau tidak. Wiring elektriknya dibuat seperti pada gambar berikut,



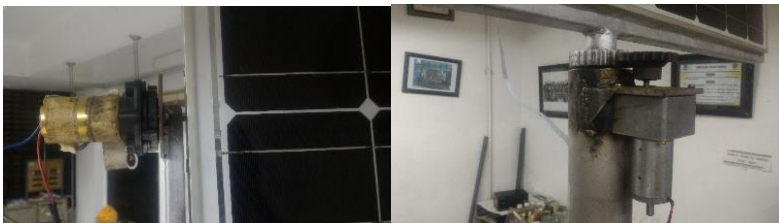
**Gambar 3. 5** Wiring sistem elektrik alat

Jika rangkaian sudah dipastikan dapat berjalan maka dimulai pembuatan sistem elektroniknya yang akan dipasang pada *panel box* kendali. Gambar 3.6 merupakan rangkaian sistem elektronik *mobile active passive solar tracker* ini,



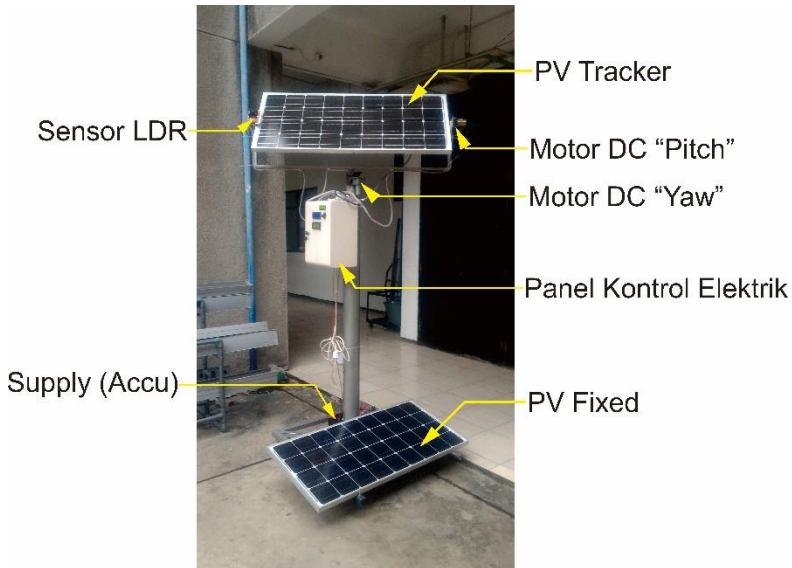
**Gambar 3. 6** Rangkaian elektronik sistem

Motor DC diletakkan sesuai pada gambar 3.7 sebagai berikut, satu untuk menggerakkan sudut *pitch* sehingga diletakkan pada sumbu horisontal bidang PV tepatnya di samping kerangka U. Sedangkan lainnya diletakkan pada sumbu vertikal bidang PV tepatnya dibawah kerangka U dan dipasangkan gear.



**Gambar 3. 7** Peletakan motor DC

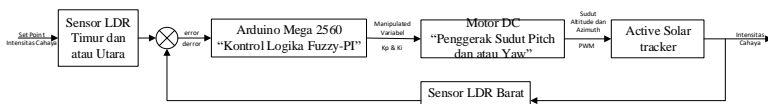
Berikut adalah gambaran prototipe dari penelitian ini yang ditunjukkan pada gambar 3.8 sebagai berikut,



**Gambar 3. 8** Prototipe *Mobile Active-Passive Solar Tracker*

### 3.3.1 Perancangan *Active Solar Tracker*

Prinsip kerja *active solar tracker* bekerja berdasarkan diagram blok berikut,

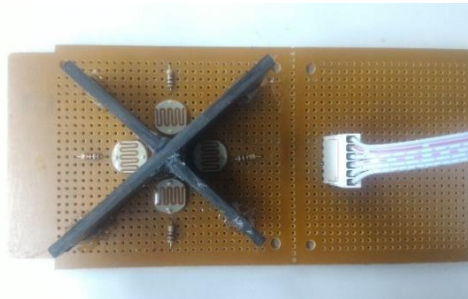


**Gambar 3. 9** *Active Solar Tracker*

*Active solar tracker* ini dirancang untuk bekerja saat cuaca cerah. Dalam mengoperasikan *active solar tracker* diperlukan empat sensor LDR, dengan rincian dua sensor (timur-barat) digunakan untuk melacak posisi matahari pada arah elevasi

sedangkan dua sensor lainnya (utara-selatan) dipakai untuk mengikuti arah azimuth matahari.

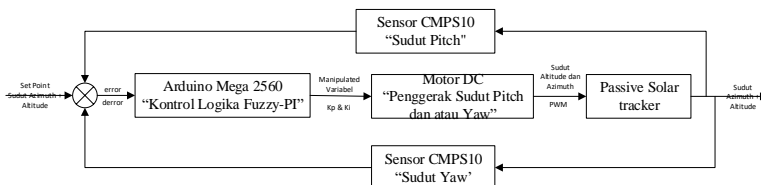
Pemasangan sensor LDR pada salah satu sisi photovoltaic diberikan penyekat/tabir/layer agar terdapat perubahan resistansi yang signifikan, hal ini bertujuan untuk menjaga selisih hasil pembacaan LDR (timur – barat dan utara – selatan) agar bernilai sama atau sangat minimum sehingga photovoltaic tetap berada tga lurus dengan arah datanya sinar matahari.



**Gambar 3. 10** Sensor LDR dan *balancer*

### 3.3.2 Perancangan *Passive Solar Tracker*

Prinsip kerja *passive solar tracker* bekerja berdasarkan diagram blok berikut,



**Gambar 3. 11** Diagram blok *Passive Solar Tracker*

*Passive solar tracker* ini dirancang untuk bekerja saat cuaca mendung atau berawan. Dalam mengoperasikan *passive solar tracker* diperlukan dua sensor CMPS10, dengan rincian satu untuk menghitung sudut *yaw* dan lainnya untuk menghitung sudut *pitch*.

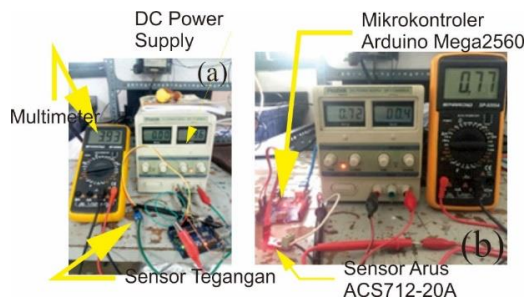


**Gambar 3. 12** Peletakkan sensor CMPS10

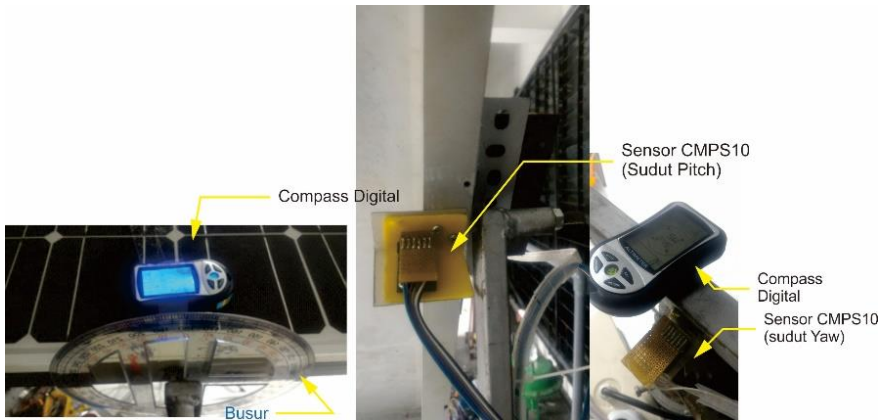
Pemasangan sensor CMPS10 diletakkan pada poros sumbu putar sudut *yaw*, tepatnya diatas motor DC *yaw*. Sedangkan satunya diletakkan di badan PV bagian belakang tepat pada poros perputaran sumbu *pitch*. Berikut ilustrasi alat yang ditampilkan pada gambar 3.12.

### 3.4 Pengujian Komponen

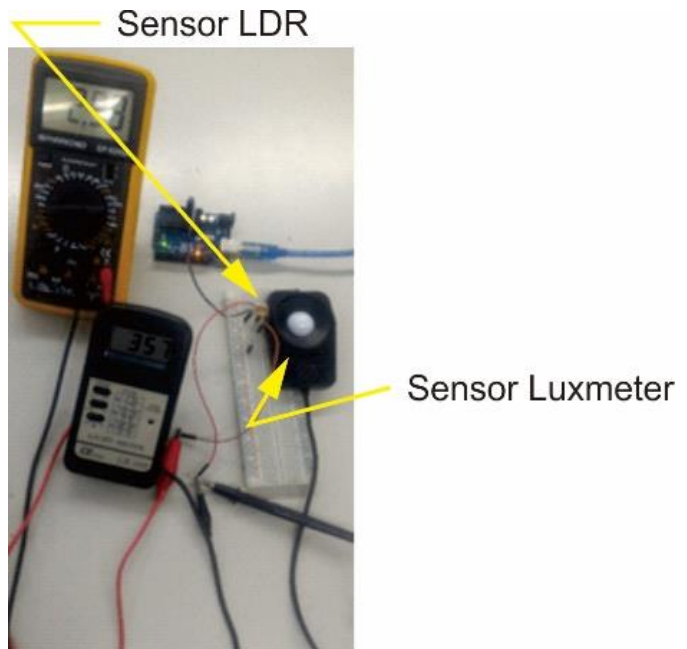
Pengujian komponen dilakukan dengan menguji kerja sensor, yaitu sensor arus ACS712-20A, sensor tegangan, dua sensor CMPS10 untuk sudut *pitch* dan sudut *yaw*, sensor LDR, dua aktuator motor DC, dan performansi PV . Pengujian ini bertujuan untuk memastikan komponen yang digunakan berfungsi dan mengetahui karakteristik performansi serta pembacaan *hardware*. Berikut dokumentasi pengujian tersebut,



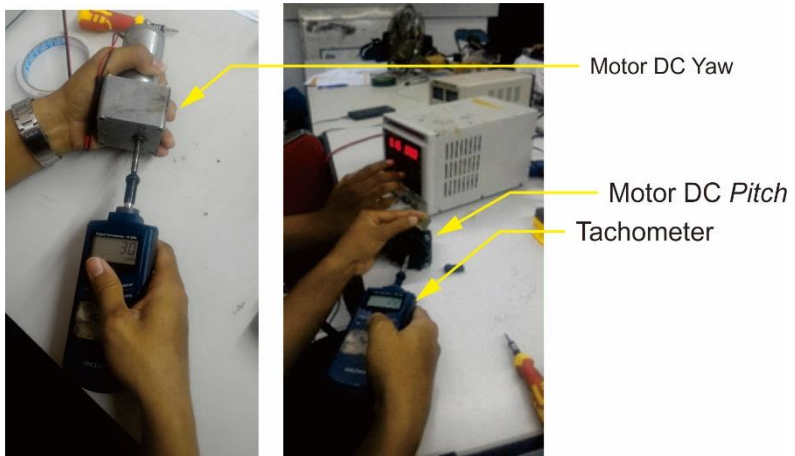
**Gambar 3. 13** Pengujian (a) sensor tegangan dan (b) sensor ACS712-20A



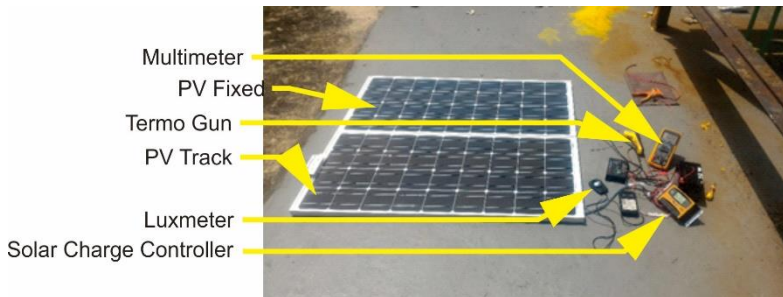
**Gambar 3. 14** Pengujian sensor CMPS10 *pitch* dan *yaw*



**Gambar 3. 15** Pengujian sensor LDR



**Gambar 3. 16** Pengujian motor DC

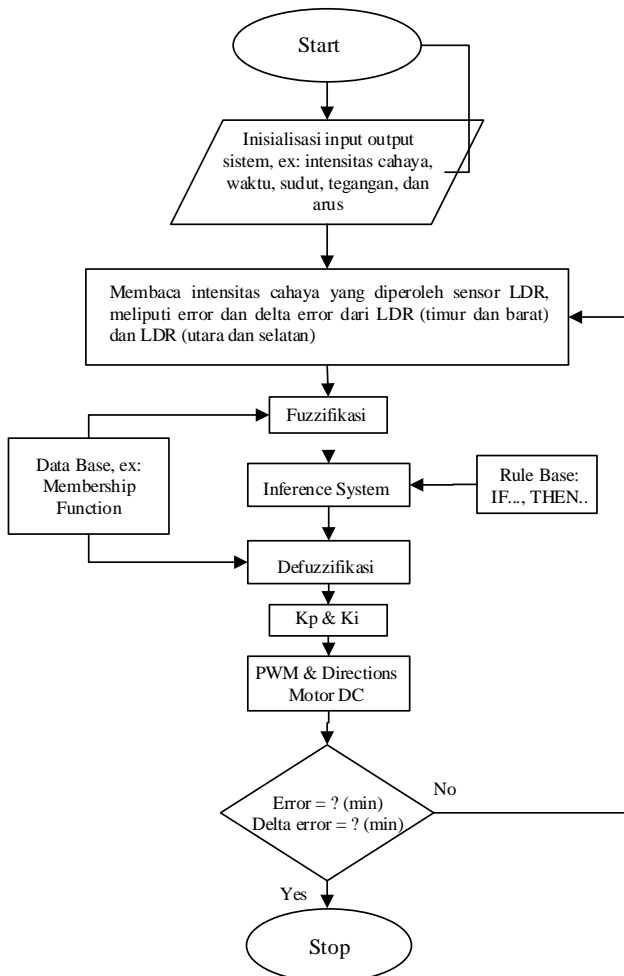


**Gambar 3. 17** Pengujian performansi PV

### 3.5 Perancangan Fuzzy PI pada *Mobile Active Solar Tracker*

Langkah pertama perancangan fuzzy-PI adalah menentukan input *output* sistem, dimana input sistem ada dua yaitu error dan delta error yang akan menghasilkan dua *output* yaitu nilai  $K_p$  dan  $K_i$  yang akan digunakan untuk menentukan besar PWM dan arah motor. Dalam hal ini error didefinisikan sebagai perbedaan tegangan yang dihasilkan oleh empat buah LDR yang saling memengaruhi, dua LDR yaitu timur dan barat akan memengaruhi

gerak sistem terhadap sumbu *pitch*. Sedangkan sua LDR yaitu utara dan selatan akan memengaruhi gerak sistem terhadap sumbu *yaw*. Secara sederhana tahapan tersebut ditunjukkan pada gambar 3.18 diagram alir rancang bangun aktif solar tracker,



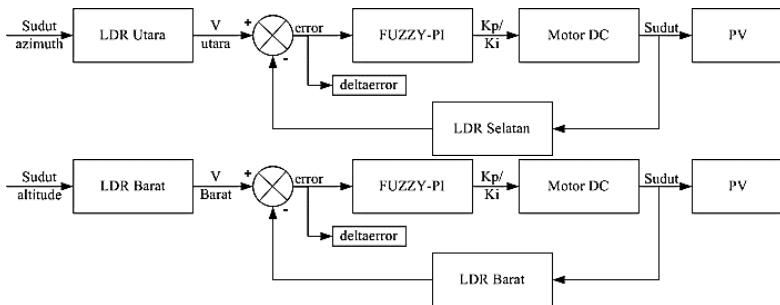
**Gambar 3. 18** Diagram alir rancang bangun *active solar tracker*



Arsitektur kontrol Fuzzy PI yang digunakan menggunakan fuzzy tipe Takagi-Sugeno. Nilai *error* dan *deltaerror* tegangan didefinisikan sebagai berikut ini :

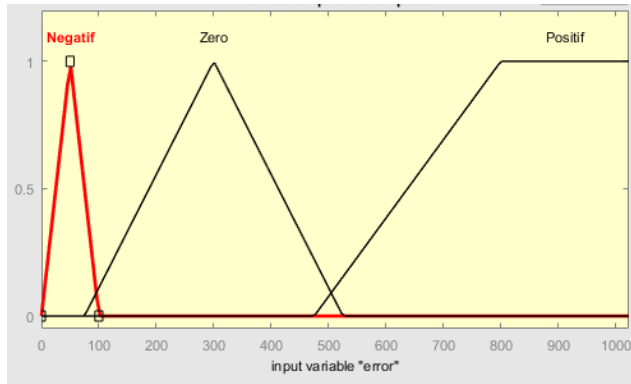
**Tabel 3. 6** Tabel input dan *output* sistem

Nilai Input System	
$Error \angle_{yaw} (t)$	Tegangan LDR <sub>utara</sub> – LDR <sub>selatan</sub>
$Deltaerror \angle_{yaw} (t)$	$Error \angle_{yaw} (t) - Error \angle_{yaw} (t-1)$
$Error \angle_{pitch} (t)$	Tegangan LDR <sub>timur</sub> – LDR <sub>barat</sub>
$Deltaerror \angle_{pitch} (t)$	$Error \angle_{pitch} (t) - Error \angle_{pitch} (t-1)$



**Gambar 3. 19** Diagram blok kendali fuzzy-PI

Masukan kendali fuzzy-PI yaitu data *error* dan *deltaerror* yang telah didefinisikan sebelumnya, selanjutnya dipetakan ke dalam ruang bilangan fuzzy melalui proses fuzzifikasi. Proses ini dilakukan penentuan fungsi keanggotaan dan jumlah keanggotaan fuzzy masukan. Jumlah keanggotaan fuzzy yang digunakan yaitu 3 yang terdiri dari bentuk fungsi keanggotaan segitiga dan fungsi keanggotaan trapesium. Bentuk interval fungsi keanggotaan masukan ditunjukkan pada gambar 3.20 sebagai berikut,



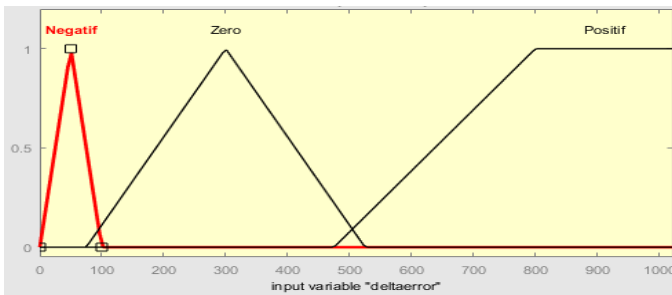
(a)

Nilai parameter variabel input error,

Negatif [a = 0; b = 50; c = 100]

Zero [a = 75; b = 300; c = 525]

Positif [a = 475; b = 800; c = 1023; d = 1023]



(b)

Nilai parameter variabel input error,

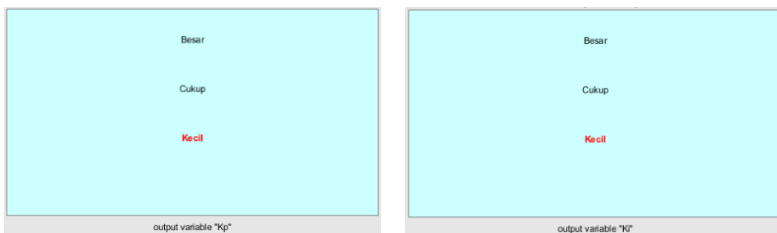
Negatif [a = 0; b = 50; c = 100]

Zero [a = 75; b = 300; c = 525]

Positif [a = 475; b = 800; c = 1023; d = 1023]

**Gambar 3. 20** Fungsi keanggotaan fuzzy masukan (a). *error* dan (b). *deltaerror*

Range *membership function* yang digunakan pada sudut *pitch* dan *yaw* yaitu nilai 0 sampai 1023. Fungsi keanggotaan yang telah dipetakan, kemudian ditentukan kelauran dari logika *fuzzy* yang akan digunakan. Keluaran atau defuzzifikasi yang digunakan dalam sistem ini yaitu berupa nilai  $K_p$  dan  $K_i$ , untuk keluaran nilai  $K_p$  dan  $K_i$  sudut *yaw* yaitu :



**Gambar 3. 21** Defuzzifikasi  $K_p$  dan  $K_i$  3 MF sudut *yaw*

**Tabel 3. 7** Parameter variabel *output* sistem sebagai berikut,

	Kecil	Cukup	Besar
<b>K<sub>p</sub></b>	1.24	4.48	9.9
<b>K<sub>i</sub></b>	0.1	0.48	1

Pada sistem ini menggunakan *rule base* berjumlah 9 untuk 3 MF karena mempunyai 2 masukan yaitu *error* dan *deltaerror* dimana masing-masing masukan berisi 3 *membership function* pada fuzzifikasi dan defuzzifikasi berisi 3 *membership function*.

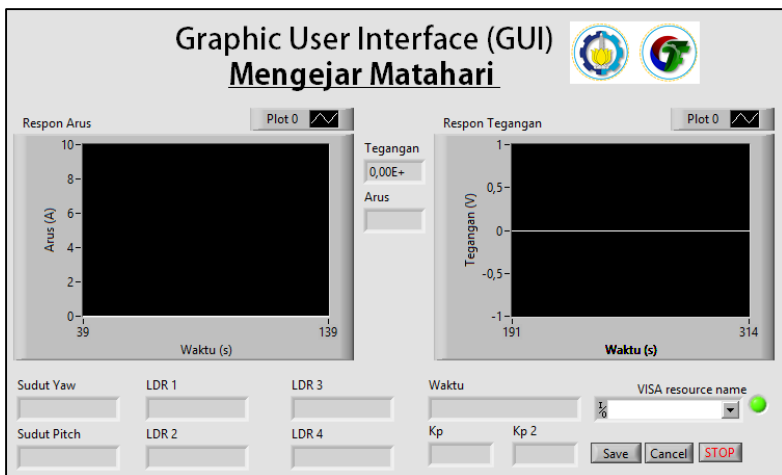
**Tabel 3. 8** *Rule base* 3 MF

e Δe	<i>Negatif</i>	<i>Zero</i>	<i>Positif</i>
<i>Negatif</i>	Kecil,Kecil	Cukup,Cukup	Besar,Besar
<i>Zero</i>	Keci,Kecil	Cukup,Cukup	Besar,Besar
<i>Positif</i>	Kecil,Kecil	Cukup,Cukup	Besar,Besar

Setelah menentukan logika fuzzy yang dibuat dalam bentuk *file .fis* pada Matlab 2016, selanjutnya dibuat program pada mikrokontroler arduino Mega2560 menggunakan software arduino IDE dan membuat *interface* di LabVIEW yang ditunjukkan seperti pada gambar berikut,



Gambar 3. 22 Sketch program Fuzzy-PI pada Arduino



Gambar 3. 23 Panel *interface* LabVIEW

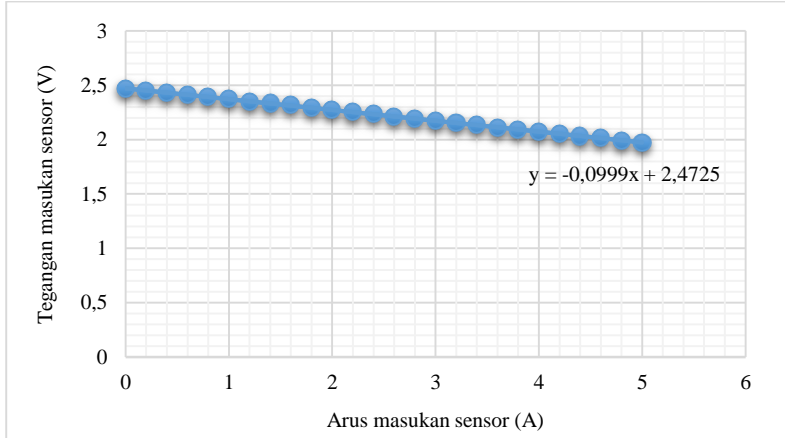
## BAB IV

### ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Tahapan ini berupa pengambilan data yang terdiri dari dua tahap. Pertama untuk uji dan kalibrasi beberapa sensor, meliputi sensor arus, tegangan, dan CMPS10. Kedua untuk uji respon sistem pengendalian.

#### 4.1 Hasil uji dan kalibrasi sensor arus ACS712-20A

Pengujian sensor arus ACS712-20A bertujuan untuk mengetahui karakteristik sensor dan hubungan tegangan masukan sensor terhadap tegangan keluaran sensor. Sistem ini secara keseluruhan menggunakan dua buah sensor arus yang diuji dan dikalibrasi untuk memonitoring kinerja *PV tracking* dan *PV fixed*. Gambar 4.1 menunjukkan hasil uji sensor yaitu hubungan variasi tegangan masukan terhadap tegangan keluaran sensor sebagai berikut,



**Gambar 4. 1** Grafik regresi tegangan keluaran sensor terhadap variasi arus masukan

Berdasarkan hasil pengukuran yang terdapat pada lampiran A diperoleh linieritas uji sensor arus ACS712-20A, dikatakan linier

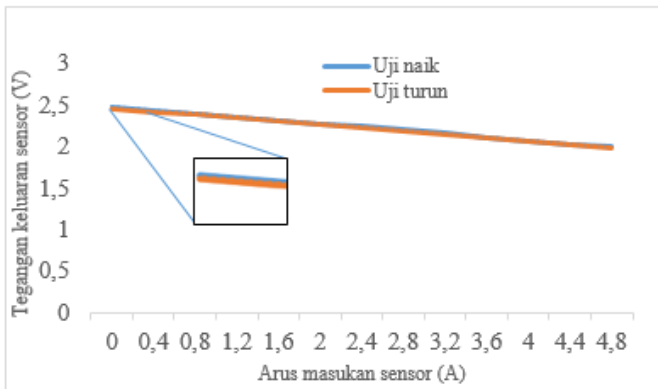
karena nilai input  $I$  dan *output*  $O$  yang sesuai berada pada garis lurus. Garis tersebut menghubungkan titik minimum ( $I_{min}$ ,  $O_{min}$ ) dan titik maksimum ( $I_{max}$ ,  $O_{max}$ ), sehingga tingkat linieritas hasil pengukuran sensor sesuai persamaan 4.1 [2].

$$O - O_{min} = \left[ \frac{O_{max} - O_{min}}{I_{max} - I_{min}} \right] (I - I_{min}) \quad (4.1)$$

Dari persamaan diatas maka diperoleh persamaan linier uji sensor arus adalah  $O = -0,1I + 2,47$ . Nilai tersebut mendekati persamaan linear yang diperoleh dari hasil plot *microsoft excel*, yaitu  $y = -0,0999x + 2,4725$ .

Perbedaan nilai *output* pembacaan saat menggunakan nilai input naik dengan nilai *output* pembacaan saat menggunakan nilai input turun disebut histeresis. Histeresis biasanya dinyatakan dalam histeresis maksimum dalam bentuk prosentase skala penuh. Secara matematis histeresis dirumuskan sesuai persamaan 4.2 [2]

$$\% \max hysteresis = \frac{\hat{H}}{O_{max} - O_{min}} \times 100\%. \quad (4.2)$$



**Gambar 4. 2** Grafik Uji naik dan turun sensor arus ACS712

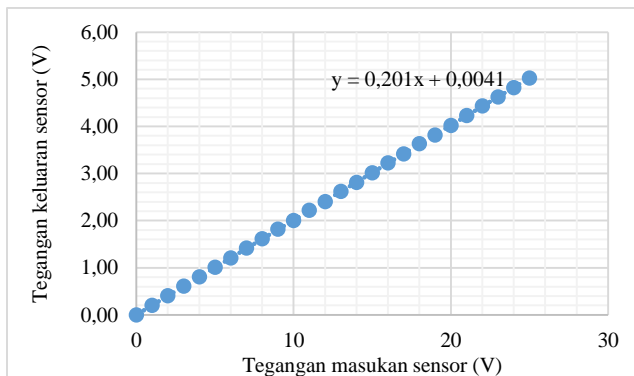
Gambar 4.2 menunjukkan hasil pengujian sensor untuk menentukan tingkat histeresis. Berdasarkan hasil pengukuran yang terdapat pada lampiran A diperoleh histeresis maksimum terjadi

saat arus masukan sebesar 0A; 0,2A; 0,4A; 0,6A, yaitu selisih dari pembacaan uji naik dan uji turun sebesar 0,02V sehingga diperoleh maksimum histeresis uji sensor arus sebesar 4%.

Kalibrasi sensor arus ACS712-20A bertujuan untuk menentukan kebenaran konvensional nilai penunjukkan alat ukur dengan cara membandingkan hasil pembacaan tersebut terhadap standar ukur yang mampu telusur (*traceable*) sebagai acuan yang dianggap tersertifikasi. Kalibrasi sensor dilakukan dengan melakukan pembacaan berulang, menghitung standar deviasi, serta ketidakpastian tipe A<sub>1</sub> yang ditunjukkan pada Tabel 2 lampiran A. Sehingga diperoleh nilai ketidakpastian terbesar terletak pada titik ukur 0,8 A sebesar 0,0354. Pembacaan rata-rata sebesar 0,78 A dan standar deviasi sebesar 0,06, sehingga hasil pengukuran sesungguhnya adalah  $0,78 \pm 0,06$  A, memiliki batas bawah 0,72 A dan batas atas 0,84 A.

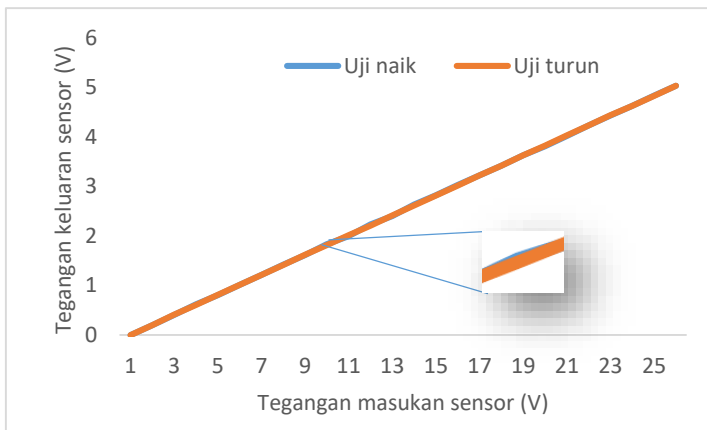
#### 4.2 Hasil uji dan kalibrasi sensor tegangan

Pengujian sensor tegangan bertujuan untuk mengetahui karakteristik sensor dan hubungan tegangan masukan sensor terhadap tegangan keluaran sensor. Sistem ini secara keseluruhan menggunakan dua buah sensor tegangan yang diuji dan dikalibrasi untuk memonitoring kinerja *PV tracking* dan *PV fixed*.



**Gambar 4. 3** Grafik regresi tegangan keluaran sensor terhadap variasi tegangan masukan

Gambar 4.3 menunjukkan hasil pengujian dalam menentukan tingkat linieritas sensor tegangan. Berdasarkan hasil pengukuran yang terdapat pada lampiran B diperoleh linieritas uji sensor tegangan, sehingga dengan menggunakan persamaan 4.1 diperoleh persamaan linieritasnya adalah  $O = 0,201I$ , hasilnya mendekati persamaan linear yang ditunjukkan oleh microsoft excel adalah  $y = 0,201x + 0,0041$ .



**Gambar 4. 4** Grafik Uji naik dan turun sensor tegangan

Hysteresis maksimum terjadi saat tegangan masukan sebesar 11V, yaitu selisih dari pembacaan uji naik dan uji turun sebesar 0,023V sehingga diperoleh maksimum hysteresis uji sensor arus sebesar 0.45%.

### 4.3 Hasil kalibrasi sensor CMPS10

Kalibrasi sensor sudut CMPS10 bertujuan untuk mengetahui nilai standar deviasi dan ketidakpastian tipe A1 pembacaan sudut *pitch* dan sudut *yaw* pada sistem. Pengambilan data dilakukan dengan cara membandingkan nilai pembacaan sensor CMPS10 terhadap pembacaan alat ukur standar yaitu busur sebagai referensi standar sudut *pitch* dan kompas digital sebagai referensi sudut *yaw*.



Berdasarkan hasil pengambilan data yang terdapat pada lampiran C diperoleh nilai ketidakpastian  $U_{AI}$  tertinggi sebesar  $0,244^\circ$  dan nilai standar deviasi tertinggi sebesar  $0,548^\circ$  pada titik-titik pengukuran, salah satunya saat sudut *pitch* referensi sebesar  $50^\circ$ ,  $135^\circ$  dan  $175^\circ$ . Sehingga hasil pengukuran sesungguhnya dapat ditulis dengan nilai rata-rata  $\pm$  standar deviasi pengukuran. Misal pada titik pengukuran sudut *pitch*  $50^\circ$  mempunyai nilai rata-rata pengukuran  $48,6^\circ$  maka hasil pengukuran sesungguhnya adalah  $48,6^\circ \pm 0,5^\circ$ . Nilai yang terukur tersebut artinya pada sudut *pitch*  $50^\circ$  pengukuran sesungguhnya memiliki nilai batas bawah sebesar  $48,1^\circ$  dan batas atas sebesar  $49,1^\circ$ . Hasil pengukuran sesungguhnya sudut *pitch* dan sudut *yaw* dituliskan pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2.

**Tabel 4. 1** Kalibrasi sensor CMPS10 sudut *pitch*

Pembacaan $\angle_{pitch}$ pada busur ( $^\circ$ )	Pembacaan rata-rata $\angle_{pitch}$ pada sensor ( $^\circ$ )	Standar Deviasi ( $^\circ$ )	Hasil Pengukuran Sesungguhnya
0	0	0	$0^\circ \pm 0^\circ$
5	5	0	$5^\circ \pm 0^\circ$
10	10	0	$10^\circ \pm 0^\circ$
15	14,8	0,447	$14,8^\circ \pm 0,447^\circ$
20	19,8	0,447	$19,8^\circ \pm 0,447^\circ$
25	24,8	0,447	$24,8^\circ \pm 0,447^\circ$
30	29,8	0,447	$29,8^\circ \pm 0,447^\circ$
35	35	0	$35^\circ \pm 0^\circ$
40	40	0	$40^\circ \pm 0^\circ$
45	45	0	$45^\circ \pm 0^\circ$
50	48,6	0,548	$48,6^\circ \pm 0,548^\circ$
55	53,6	0,548	$53,6^\circ \pm 0,548^\circ$
60	58,8	0,447	$58,8^\circ \pm 0,447^\circ$
65	63,4	0,548	$63,4^\circ \pm 0,548^\circ$
70	67,4	0,548	$67,4^\circ \pm 0,548^\circ$
75	72,8	0,447	$72,8^\circ \pm 0,447^\circ$

80	76,6	0,548	$76,6^\circ \pm 0,548^\circ$
85	82	0	$82^\circ \pm 0^\circ$
90	86,8	0,447	$86,8^\circ \pm 0,447^\circ$
95	92,6	0,548	$92,6^\circ \pm 0,548^\circ$
100	97	0	$97^\circ \pm 0^\circ$
105	102,8	0,447	$102,8^\circ \pm 0,447^\circ$
110	106,8	0,447	$106,8^\circ \pm 0,447^\circ$
115	112,6	0,548	$112,6^\circ \pm 0,548^\circ$
120	116,6	0,548	$116,6^\circ \pm 0,548^\circ$
125	121,6	0,548	$121,6^\circ \pm 0,548^\circ$
130	126,2	0,447	$126,2^\circ \pm 0,447^\circ$
135	131,6	0,548	$131,6^\circ \pm 0,548^\circ$
140	136,6	0,548	$136,6^\circ \pm 0,548^\circ$
145	141,4	0,548	$141,4^\circ \pm 0,548^\circ$
150	146,2	0,447	$146,2^\circ \pm 0,447^\circ$
155	151,8	0,447	$151,8^\circ \pm 0,447^\circ$
160	156,8	0,447	$156,8^\circ \pm 0,447^\circ$
165	161,8	0,447	$161,8^\circ \pm 0,447^\circ$
170	166,6	0,548	$166,6^\circ \pm 0,548^\circ$
175	171,6	0,548	$171,6^\circ \pm 0,548^\circ$
180	179,8	0,447	$179,8^\circ \pm 0,447^\circ$

**Tabel 4. 2** Kalibrasi sensor CMPS10 sudut *yaw*

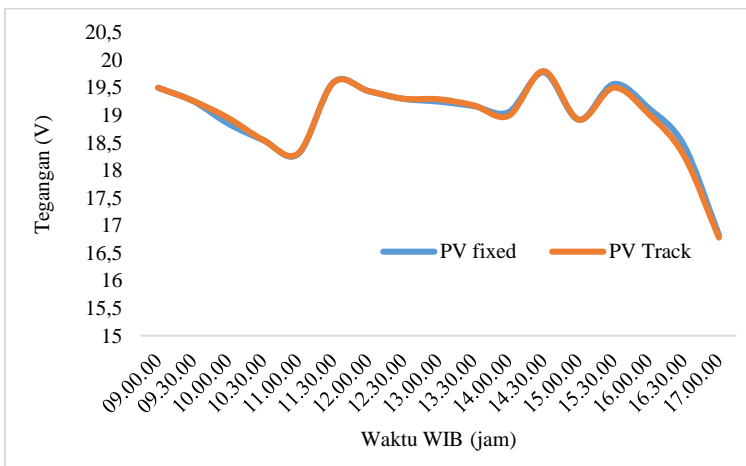
Pembacaan $\angle_{yaw}$ pada busur ( $^\circ$ )	Pembacaan rata-rata $\angle_{yaw}$ pada sensor ( $^\circ$ )	Standar Deviasi ( $^\circ$ )	Hasil Pengukuran Sesungguhnya
0	0	0	$0^\circ \pm 0^\circ$
10	12,12	0,43	$12,12^\circ \pm 0,43^\circ$
20	22,22	0,33	$22,22^\circ \pm 0,33^\circ$
30	31,74	0,38	$31,74^\circ \pm 0,38^\circ$
40	42,08	0,56	$42,08^\circ \pm 0,56^\circ$
50	52,92	0,57	$52,92^\circ \pm 0,57^\circ$
60	62,86	0,3	$62,86^\circ \pm 0,3^\circ$

70	72,56	0,38	$72,56^\circ \pm 0,38^\circ$
80	82,9	0,25	$82,9^\circ \pm 0,25^\circ$
90	93,06	0,32	$93,06^\circ \pm 0,32^\circ$
100	103,24	0,24	$103,24^\circ \pm 0,24^\circ$
110	112,92	0,55	$112,92^\circ \pm 0,55^\circ$
120	123,22	0,36	$123,22^\circ \pm 0,36^\circ$
130	133,28	0,28	$133,28^\circ \pm 0,28^\circ$
140	143,42	0,22	$143,42^\circ \pm 0,22^\circ$
150	153,5	0,24	$153,5^\circ \pm 0,24^\circ$
160	163,48	0,26	$163,48^\circ \pm 0,26^\circ$
170	173,94	0,21	$173,94^\circ \pm 0,21^\circ$
180	183,94	0,21	$183,94^\circ \pm 0,21^\circ$
190	194,44	0,24	$194,44^\circ \pm 0,24^\circ$
200	204,56	0,21	$204,56^\circ \pm 0,21^\circ$
210	214,42	0,24	$214,42^\circ \pm 0,24^\circ$
220	223,82	0,19	$223,82^\circ \pm 0,19^\circ$
230	232,66	0,32	$232,66^\circ \pm 0,32^\circ$
240	242,7	0,37	$242,7^\circ \pm 0,37^\circ$
250	252,3	0,32	$252,3^\circ \pm 0,32^\circ$
260	261,74	0,38	$261,74^\circ \pm 0,38^\circ$
270	272	0,44	$272^\circ \pm 0,44^\circ$
280	282,04	0,36	$282,04^\circ \pm 0,36^\circ$
290	292,14	0,33	$292,14^\circ \pm 0,33^\circ$
300	302,12	0,27	$302,12^\circ \pm 0,27^\circ$
310	311,42	0,23	$311,42^\circ \pm 0,23^\circ$
320	320,8	0,36	$320,8^\circ \pm 0,36^\circ$
330	330,5	0,29	$330,5^\circ \pm 0,29^\circ$
340	339,88	0,29	$339,88^\circ \pm 0,29^\circ$
350	349,46	0,23	$349,46^\circ \pm 0,23^\circ$
360	359,38	0,31	$359,38^\circ \pm 0,31^\circ$

Berdasarkan hasil pengambilan data kalibrasi pada lampiran D diperoleh nilai ketidakpastian  $U_{A1}$  tertinggi sebesar  $0,254^\circ$  dan nilai standar deviasi tertinggi sebesar  $0,57^\circ$  pada titik pengukuran sudut  $yaw_{\text{referensi}}$  sebesar  $50^\circ$  dengan nilai rata-rata pengukuran sebesar  $52,92^\circ$ . Sehingga nilai pengukuran sesungguhnya adalah  $52,92^\circ \pm 0,57^\circ$ .

#### 4.4 Hasil Uji Performansi PV

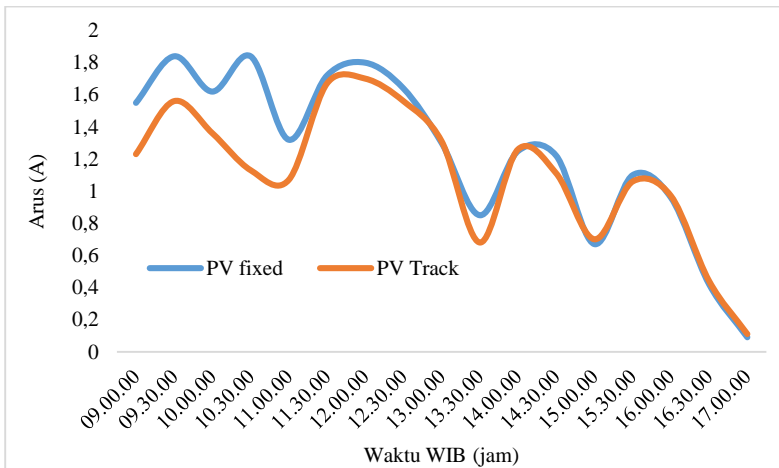
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi energi yang dihasilkan oleh panel surya (PV). Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai *output* daya PV yang digunakan pada *tracker* dan *fixed*. Dua variabel yang digunakan untuk menentukan nilai *output* daya PV adalah nilai tegangan dan arus yang dihasilkan PV. Gambar 4.5 menunjukkan profil tegangan *output* PV selama 8 jam operasi dengan periode sampling data tiap 30 menit.



**Gambar 4. 5** Grafik respon *output* tegangan uji performansi PV

Gambar 4.5 tersebut menunjukkan bahwa kedua grafik memiliki *trend* yang hampir sama saat dilakukan pengujian. Perubahan tegangan kedua PV memiliki respon yang konsisten

terhadap perubahan kondisi cuaca baik saat cerah, berawan, maupun mendung. Tegangan maksimum terjadi saat pukul 14:30 WIB yaitu nilai tegangan sebesar 19,78 VDC ketika temperatur PV dan intensitas cahaya sebesar 40°C dan 39.500 Lux. Penyimpangan rata-rata yang diperoleh adalah 0,48 VDC.

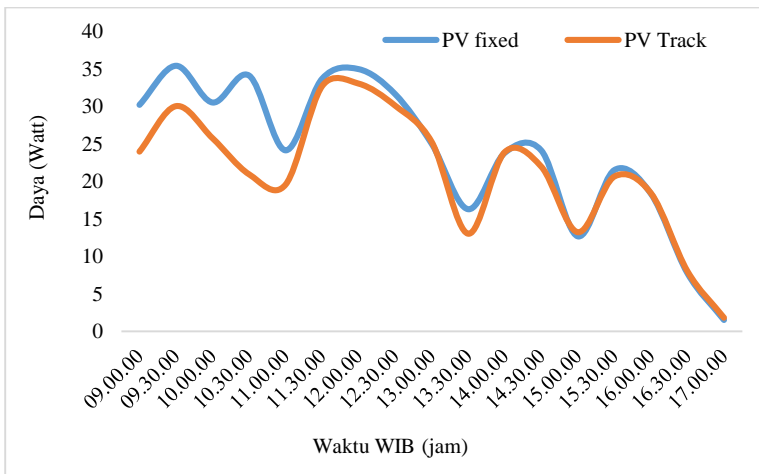


**Gambar 4. 6** Grafik respon *output* arus uji performansi PV

Gambar 4.6 menunjukkan grafik respon *output* arus PV. Kedua grafik menunjukkan respon dengan *trend* yang hampir sama. Perubahan arus PV memiliki respon yang konsisten terhadap perubahan cuaca sama seperti *output* tegangan PV. Dari data tersebut diperoleh penyimpangan rata-rata nilai *output* arus adalah 0.37 A.

Gambar 4.7 menunjukkan grafik respon *output* daya PV. Kedua PV yang diposisikan horisontal di atas tanah seperti pada Gambar 3.17 dengan sudut *pitch*  $\Theta_p = 90^\circ$ . Dari grafik tersebut diperoleh daya maksimum pada pukul 9.30 sebesar 35,43 Watt untuk PV fixed dan 33,04 Watt untuk PV track. Sehingga dapat ditarik pernyataan bahwa daya *output* PV yang digunakan sebagai

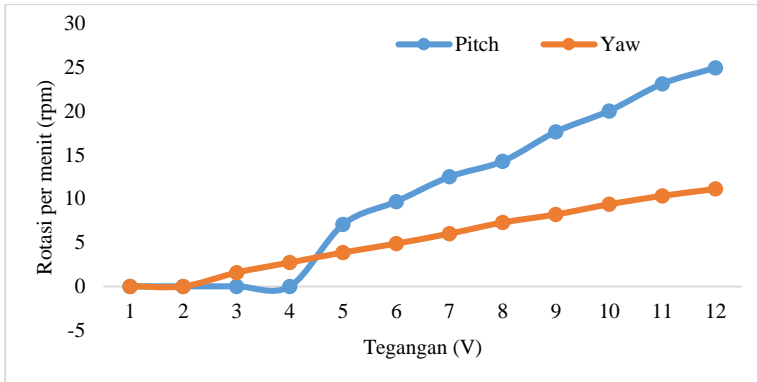
PV fixed lebih besar dibandingkan dengan daya *output* PV yang digunakan sebagai solar tracker. Hal ini dapat terjadi karena PV tidak benar-benar identik meskipun mereknya sama, adanya perbedaan sedikit, yaitu 0,3V pada  $V_{oc}$  yang tertera di spesifikasi PV juga dapat memengaruhi, selain itu penggunaan alat ukur juga memengaruhi pembacaan *output* kedua PV tersebut.



**Gambar 4. 7** Grafik respon daya *output* uji performansi PV

#### 4.5 Pengujian Aktuator Motor DC

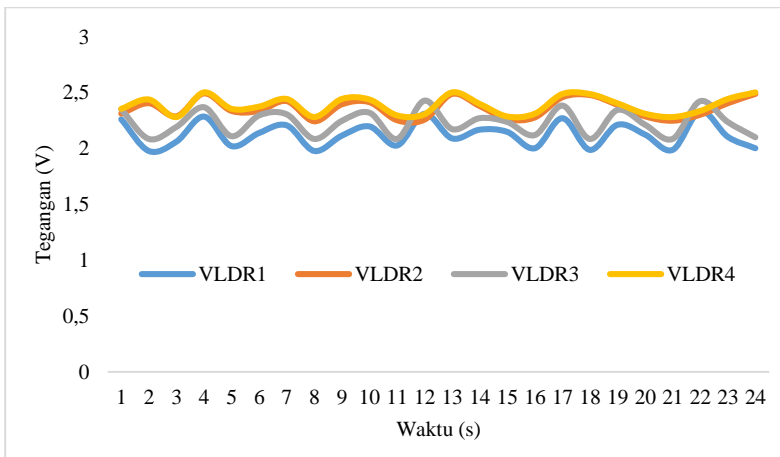
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui *output* nilai rpm (*rotation per minute*) yang dihasilkan oleh motor DC akibat input variasi nilai tegangan. Dari hasil pengujian ini dapat digunakan untuk menentukan *range input* tegangan yang relevan digunakan untuk menggerakkan PV *solar tracker* pada sumbu *pitch* maupun sumbu *yaw*. Gambar 4.8 menunjukkan perubahan nilai rpm terhadap variasi *input* tegangan motor DC. Dari data tersebut diketahui bahwa minimum tegangan yang diberikan pada sistem *solar tracker* adalah 3 VDC untuk motor DC penggerak sudut *yaw*, dan 5 VDC untuk motor DC penggerak sudut *pitch*.



**Gambar 4. 8** Grafik perubahan rpm terhadap *input* variasi tegangan pada motor DC

#### 4.6 Pengujian Sensor LDR

Pengujian sensor LDR dilakukan dengan tujuan mengetahui nilai pembacaan masing-masing LDR. Dimana terdapat banyak sensor LDR yang diuji dan hanya dipilih 4 buah sensor dengan hasil pembacaan mendekati sama satu sama lain.

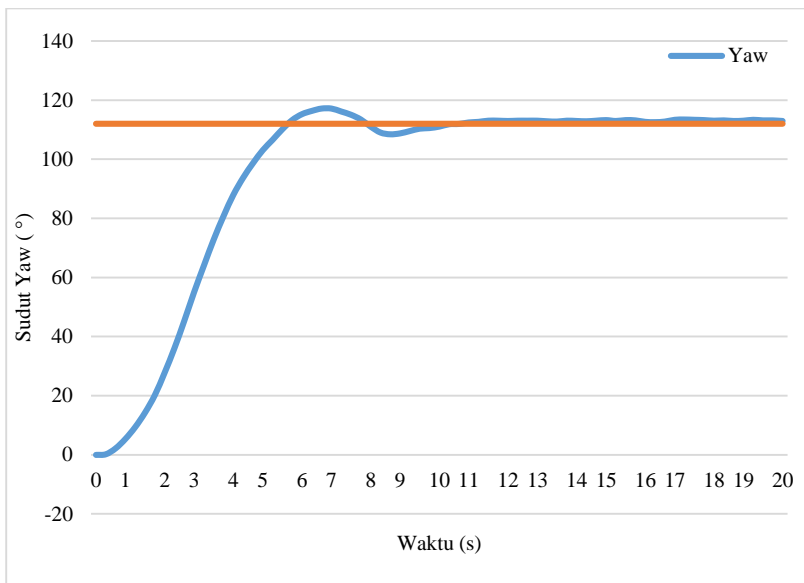


**Gambar 4. 9** Grafik nilai pembacaan sensor LDR

Keempat sensor LDR tersebut kemudian diletakkan pada 4 posisi yang saling berhadapan dan diantaranya diberikan sekat (*balancer*) seperti ditunjukkan pada Gambar 3.10. LDR 1 dan 3 ditetapkan sebagai sensor sudut altitude acuan posisi timur dan barat. Sedangkan LDR 2 dan 4 ditetapkan sebagai sensor sudut azimuth acuan posisi utara dan selatan. Gambar 4.9 menunjukkan hasil pengujian sensor LDR dengan *input* tetap 1.350 lux menggunakan cahaya lampu, diperoleh nilai faktor koreksi antara *output* LDR1-3 rata-rata sebesar -0,10529 V, sedangkan *output* LDR2-4 rata-rata sebesar -0,02749 V.

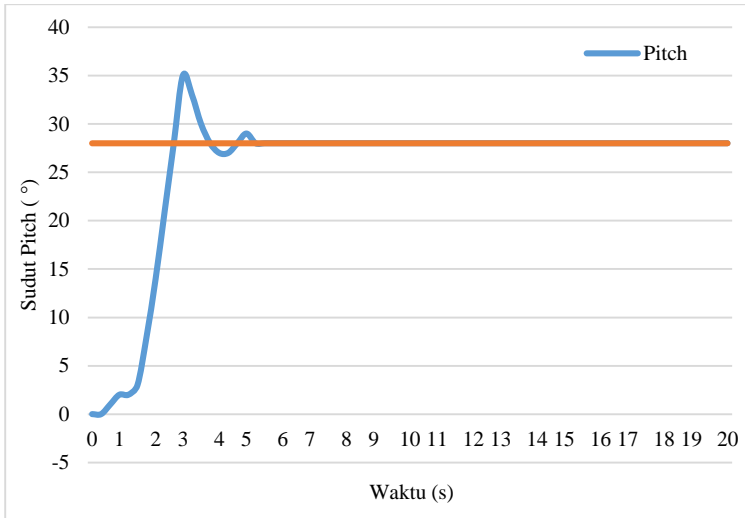
#### 4.7 Pengujian Pasif Solar Tracker

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kontrol fuzzy-PI dalam merespon input berupa sudut azimuth dan sudut altitude matahari. Respon uji set poin tersebut ditunjukkan pada gambar 4.10 berikut,



(a)





(b)

**Gambar 4. 10** Grafik respon sudut (a) yaw dan (b) *pitch* terhadap *input set point*

Dari gambar 4.10 diperoleh informasi performansi kontrol fuzzy-PI dalam mode *passive solar tracker* yang terdapat pada Tabel 4.3.

**Tabel 4. 3** Performansi respon sistem

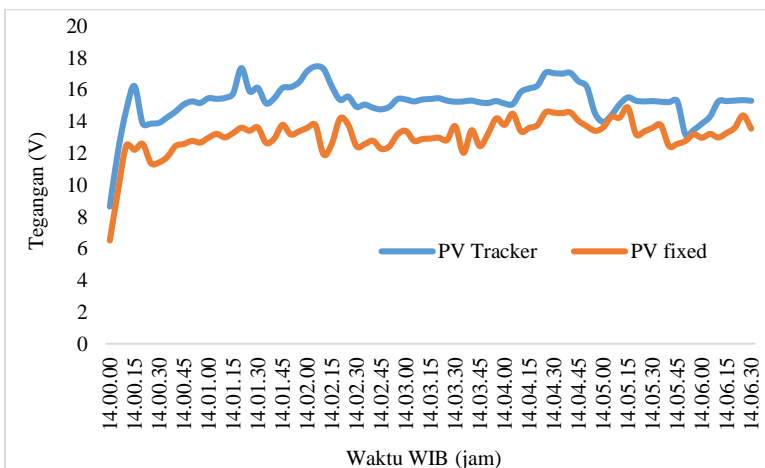
	$\angle_{yaw}$	$\angle_{pitch}$
<i>Rise time</i> ( $t_r$ )	5.612 s	2.66 s
<i>Delay time</i> ( $t_d$ )	2.806 s	1.33 s
<i>Peak time</i> ( $t_p$ )	6.33 s	3 s
<i>Settling time</i> ( $t_s$ )	10.2 s	5.25 s
<i>Maximum overshoot</i> ( $M_p$ )	0.045%	0.25%
<i>Error steady state</i> ( $E_{ss}$ )	0.4%	0.28%

#### 4.8 Pengujian *Mobile Active-Passive Solar Tracker*

Pengujian ini dilakukan dengan mengintegrasikan sistem solar tracker yang mampu bekerja dalam mode aktif dan mode pasif, serta kombinasi mode aktif-pasif menggunakan kendali fuzzy-PI. Terdapat dua panel surya 100Wp yang digunakan, salah satunya menggunakan *solar tracker* dan lainnya dalam kondisi diletakkan pada posisi tetap (*fixed*).

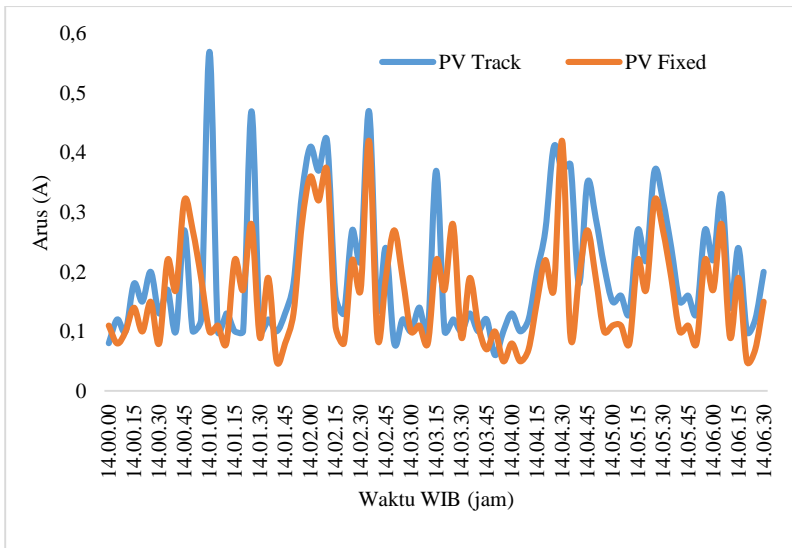
##### 4.8.1 Pengujian *Mobile Passive Solar Tracker*

Pada pengujian ini mode pasif *solar tracker* menyala ketika kondisi langit mendung. Hal ini terjadi karena didesain *autoswitching* sesuai program yang dibuat dalam kontroler dengan aturan jika nilai pembacaan lux kurang dari 29.000 lux maka mode aktif berubah menjadi mode pasif *solar tracker*. Pengambilan data dilakukan pada pukul 14.00 WIB. *Solar tracker* diletakkan diatas mobil *pick up* yang dijalankan dengan rute mulai dari Teknik Fisika ITS hingga Teknik Informatika ITS. Kondisi lingkungan saat itu langit mendung menunjukkan suhu rata-rata sebesar 28°C dan intensitas cahaya sebesar 28.000 lux. Berikut grafik pengambilan data,

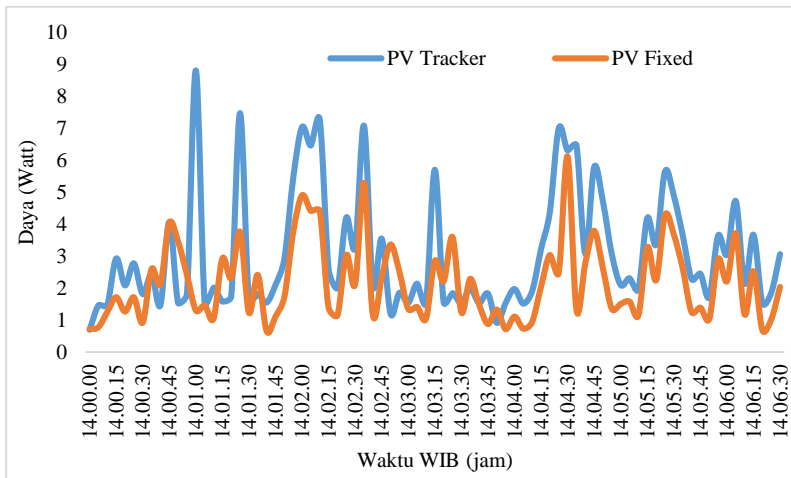


**Gambar 4. 11** Grafik perbandingan *output* tegangan *PV fixed* dan *PV tracker (mobile passive solar tracker)*

Gambar 4.11 menunjukkan profil tegangan *output* PV dengan *solar tracker* dan *PV fixed* yang beroperasi selama perjalanan tersebut dalam kurun waktu 6 menit 30 detik. Pola grafik yang berbentuk fluktuatif tersebut terjadi karena pasif *solar tracker* merespon perubahan *input* set poin yang diakibatkan dari jalan yang berbelok. Sementara itu adanya gangguan (*disturbance*) akibat permukaan jalan yang tidak rata juga memengaruhi kerja *solar tracker*. Selisih rata-rata tegangan yang dihasilkan antara PV *solar tracker* dan *PV fixed* adalah 2.17 V. Gambar 4.12 menunjukkan profil arus *output* PV *solar tracker* dan *PV fixed*. Selisih rata-rata arus yang dihasilkan sebesar 0.034 A.



**Gambar 4. 12** Grafik perbandingan *output* arus *PV fixed* dan *PV tracker (mobile passive solar tracker)*

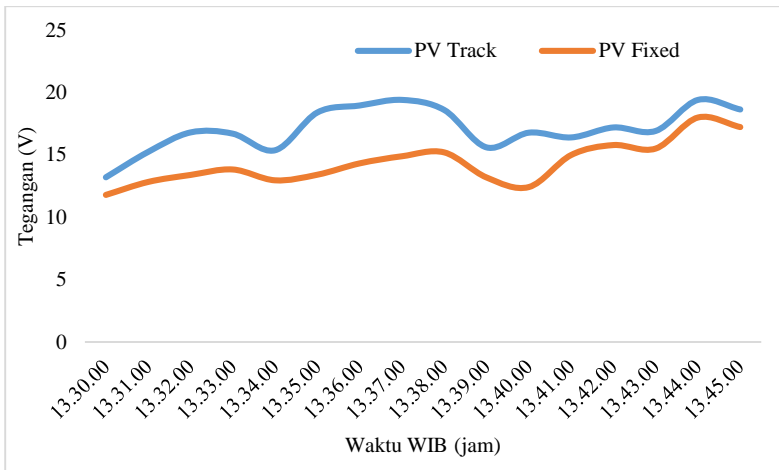


**Gambar 4. 13** Grafik perbandingan daya yang dihasilkan *PV tracker* dan *PV fixed (mobile passive solar tracker)*

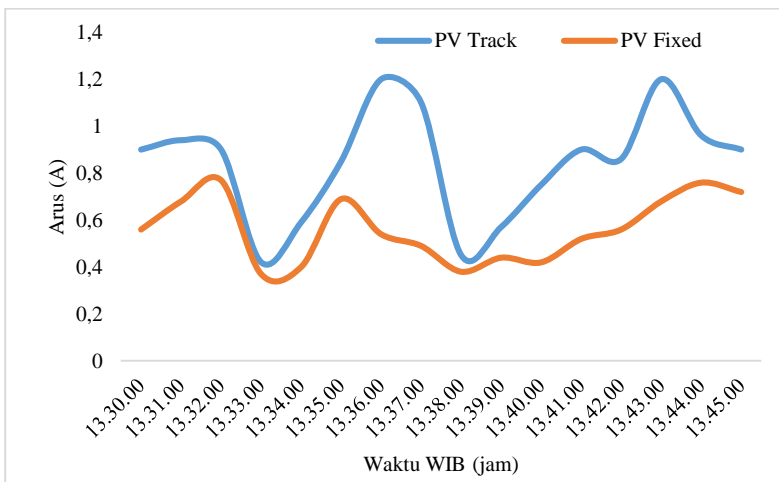
Gambar 4.13 menunjukkan profil daya *output* PV dengan *solar tracker* dan *PV fixed*, dimana terjadi peningkatan daya yang dihasilkan oleh *PV solar tracker* dibandingkan dengan *PV fixed*. Peningkatan daya yang diperoleh oleh *mobile passive solar tracker* sebesar 41,68%.

#### 4.8.2 Pengujian *Mobile Active Solar Tracker*

Pada pengujian ini mode aktif solar tracker menyala ketika kondisi langit cerah tidak berawan atau intensitas cahaya lebih dari 29000 lux. Pengambilan data dilakukan pada pukul 13.30 WIB dengan rute mulai dari Teknik Fisika ITS menuju Teknik Industri ITS dan kembali lagi ke Teknik Fisika ITS tidak menggunakan mobil *pick up* melainkan cukup mendorong kerangka *solar tracker* tersebut. Kondisi lingkungan saat itu langit cerah. Gambar 4.14 menunjukkan profil tegangan *output* PV dengan *solar tracker* dan *PV fixed* yang beroperasi selama perjalanan tersebut dalam kurun waktu 15 menit. Dari data tersebut diperoleh peningkatan tegangan sebesar 19.09% dengan selisih tegangan rata-rata sebesar 2,74 V.



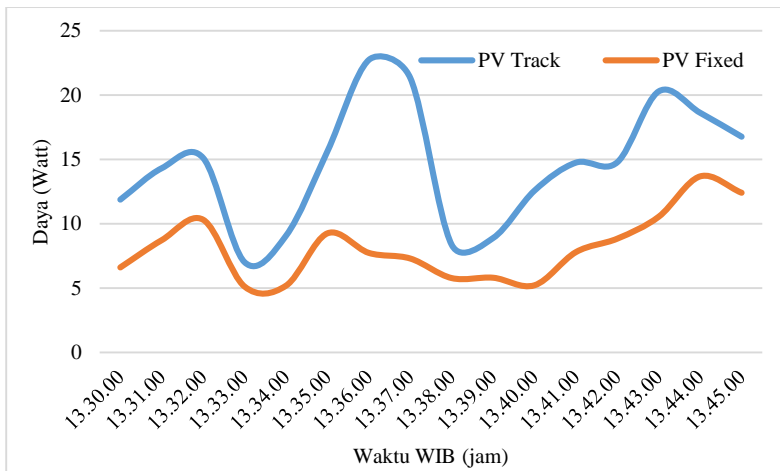
**Gambar 4. 14** Grafik perbandingan *output* tegangan PV *fixed* dan PV *tracker (mobile active solar tracker)*



**Gambar 4. 15** Grafik perbandingan *output* arus PV *fixed* dan PV *tracker (mobile active solar tracker)*

Gambar 4.15 menunjukkan profil arus *output* PV *solar tracker* dan PV *fixed*. Selisih rata-rata arus yang dihasilkan sebesar 0,28 A.

Dari pengamatan grafik terdapat selisih maksimum sebesar 0.66A pada pukul 13:36 WIB. Hal ini diakibatkan saat itu melalui jalan yang tertutup oleh bayangan pohon di daerah Teknik Mesin ITS, akibatnya performa PV *fixed* cenderung lebih rendah dibandingkan PV *solar tracker* yang mampu menjejak berkas cahaya meskipun dari pantulan lingkungan sekitar. Dari perolehan nilai *output* tegangan dan arus tersebut dapat diperoleh besar daya yang dihasilkan ditunjukkan pada Gambar 4.16. Peningkatan daya yang dihasilkan oleh PV *mobile active solar tracker* dibandingkan dengan PV *fixed* adalah 78,27%.

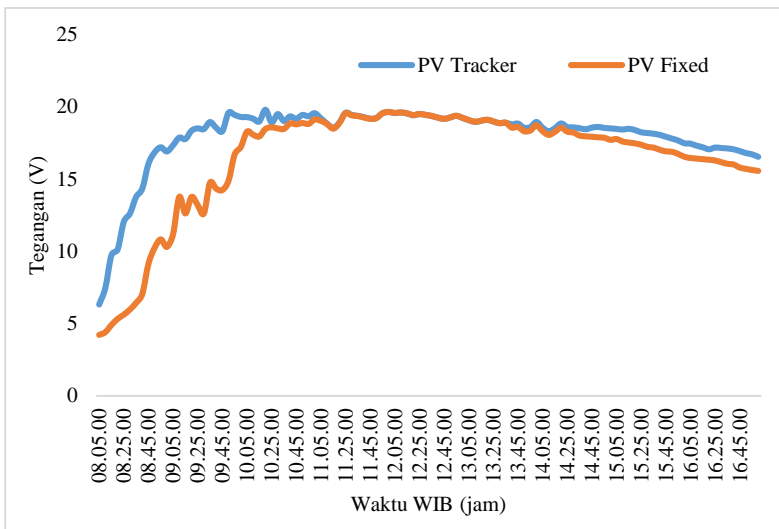


**Gambar 4. 16** Grafik perbandingan daya yang dihasilkan PV *tracker* dan PV *fixed* (*mobile active solar tracker*)

#### 4.8.3 Pengujian *Combined Active-Passive Solar Tracker*

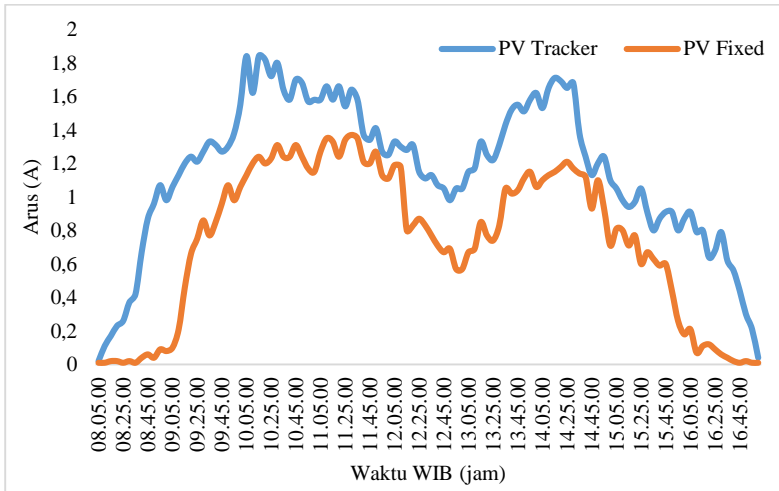
Pada pengujian ini dilakukan dengan membandingkan dua PV, salah satu dalam kondisi tetap (*fix based*) dan satu lainnya menggunakan sistem kombinasi mode aktif dan pasif *solar tracker*. Pengambilan data ini dilakukan menggunakan skenario mode pasif dengan memberikan bayangan (*shadow*) yang jatuh pada PV dan sensor luxmeter akibat dari adanya gedung Teknik Fisika disebelah

timur dan barat *solar tracker*. Berdasarkan pengambilan data diketahui bahwa sistem tersebut beroperasi mode pasif *solar tracker* pada saat rentang waktu pukul 08.00 – 10.00 WIB dan 16.30 – 17.00 WIB. *Solar tracker* ini berubah beroperasi secara otomatis menjadi mode aktif saat sudah tidak ada lagi bayangan yang jauth pada PV dan sensor luxmeter. Kondisi lingkungan saat itu sedang berawan. Sehingga diperoleh data keluaran tegangan, arus, dan daya dari kedua PV adalah sebagai berikut,



**Gambar 4. 17** Grafik perbandingan *output* tegangan *PV fixed* dan *PV tracker (combined active-passive solar tracker)*

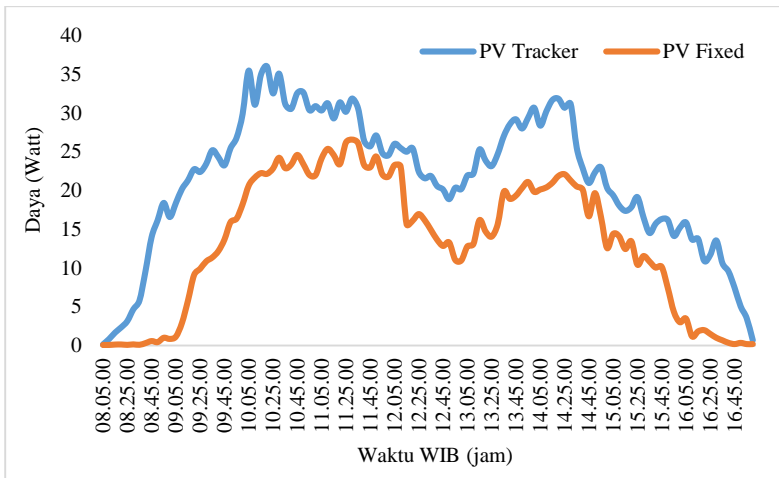
Gambar 4.17 menunjukkan profil tegangan *output* PV dengan kombinasi aktif dan pasif *solar tracker* dan *PV fixed*. Nilai tegangan yang terukur relatif sama, Selisih rata-rata tegangan yang dihasilkan antara *PV combined active-passive solar tracker* dan *PV fixed* adalah 1,49 V. Hal ini menunjukkan bahwa nilai tegangan relatif konstan akibat temperatur lingkungan dan permukaan PV yang cenderung stabil di kondisi 33°C.



**Gambar 4. 18** Grafik perbandingan *output* arus *PV fixed* dan *PV tracker (combined active-passive solar tracker)*

Gambar 4.18 menunjukkan profil arus *output* PV dengan kombinasi aktif dan pasif *solar tracker* dan *PV fixed*. Nilai arus yang terukur memiliki trend yang relatif sama. Berdasarkan pengamatan grafik, pembacaan arus cenderung fluktuatif dengan rentan waktu yang cepat, hal ini dikarenakan perubahan kondisi cuaca yang relatif cepat juga. Nilai arus yang besar menunjukkan kondisi saat itu sedang cerah, jika kecil maka cuaca sedang berawan atau bahkan mendung. Arus maksimal terjadi pada pukul 10:05 dan 10:15 WIB yaitu 1,84A untuk *PV combined active-passive solar tracker*. Sedangkan pada *PV fixed* arus maksimal tidak terjadi pada waktu tersebut melainkan pada pukul 11:30 WIB yaitu 1.37A. Hal ini dikarenakan saat pukul 10:15 WIB masih terhalang oleh bayangan bangunan. Dari perolehan nilai *output* tegangan dan arus tersebut dapat diperoleh besar daya yang dihasilkan ditunjukkan pada Gambar 4.19. Peningkatan daya yang dihasilkan oleh *PV combined active-passive solar tracker* dibandingkan dengan *PV fixed* adalah 60,21%.





**Gambar 4. 19** Grafik perbandingan daya yang dihasilkan *PV tracker* dan *PV fixed (combined active-passive solar tracker)*

#### 4.9 Pembahasan

Pada proses pengambilan data *mobile active-passive solar tracker* dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui performansi *output* PV, yaitu dengan membandingkan nilai tegangan dan arus yang dihasilkan oleh *PV tracker* maupun *PV fixed*. Variabel yang ditinjau adalah tegangan dan arus masing-masing PV yang sudah terintegrasi dengan sistem *data logger*. Sehingga nilai pembacaan tegangan dan arus PV dapat direkam ke dalam file *excel* dengan periode sampling 5 s untuk pengujian mode pasif *mobile solar tracker* dan 10 s untuk pengujian mode aktif *mobile solar tracker*. Nilai daya yang dihasilkan oleh masing-masing PV yang ditunjukkan pada gambar 4.7 dan gambar 4.9. Berdasarkan gambar tersebut terlihat bahwa daya yang dihasilkan oleh *PV tracker* bernilai fluktuatif. Misal pada pengujian mode aktif *mobile solar tracker*, terdapat 5 kali pembacaan naik turun perolehan daya *output* PV. Hal ini dikarenakan sistem berjalan mengikuti

perubahan posisi akibat belokan dari jalan yang dilalui serta akibat bayangan (*shadow*) dari pohon dan gedung sekitar yang dilalui.

*Solar tracker* berperan untuk menjaga kondisi modul PV agar selalu menghadap tegak lurus terhadap arah datangnya sinar matahari dengan tujuan terpapar dan memperoleh radiasi matahari secara maksimum. Meningkatnya radiasi matahari akan meningkatkan nilai arus yang dihasilkan PV, akibatnya daya yang dihasilkan oleh PV pun akan meningkat. Akan tetapi, daya yang dihasilkan oleh PV dipengaruhi oleh nilai keluaran tegangan PV, dimana nilai keluaran tegangan dipengaruhi oleh suhu lingkungan dan permukaan PV. Semakin naik suhu permukaan PV maka mengakibatkan nilai tegangan keluaran PV akan menurun sehingga daya yang dihasilkan pun akan menurun.

Dari data tersebut dapat dihitung peningkatan daya rata-rata yang diperoleh pada *mobile passive solar tracker* yaitu sebesar 41,68% terhadap PV *fixed*. Sedangkan *mobile active solar tracker* yaitu sebesar 78,27% terhadap PV *fixed*. Pengujian *combined active-passive solar tracker* diperoleh peningkatan sebesar 60,21%.

Dari grafik pada gambar 4.19 diperoleh nilai energi total yang dihasilkan oleh *PV mobile combined active-passive solar tracker* dengan menghitung luas area dibawah grafik *output* daya terhadap waktu. Perhitungan luas area dibawah grafik dapat diketahui dengan membaginya menjadi beberapa elemen, yaitu terdiri dari persegi panjang, segitiga, maupun trapesium. Dalam perhitungan ini menggunakan asumsi elemen-elemen berbentuk trapesium, sehingga sesuai rumus luas trapesium pada persamaan 4.3, yaitu

$$\begin{aligned}
 L_{trapesium} &= (\text{Jumlah sisi yang sejajar}) \times \frac{1}{2} \times t \\
 &= (P_{sebelumnya} + P_{sesudah}) \times \frac{1}{2} \times 60 \quad (4.3)
 \end{aligned}$$

Diperoleh informasi grafik terbagi menjadi 106 elemen berbentuk trapesium, sehingga dengan menggunakan persamaan 4.3 diketahui bahwa jumlah sisi yang sejajar adalah nilai  $\text{daya}_{\text{sebelumnya}} + \text{daya}_{\text{sesudah}}$ , dan tinggi trapesium adalah waktu, yaitu 300s. Sehingga luas area dibawah grafik diperoleh dengan menjumlahkan luas masing-masing elemen dan dapat dirumuskan menjadi persamaan 4.4, yaitu

$$L_{\text{area}}(n) = \sum_{n=1}^{106} (\text{Jumlah sisi yang sejajar}) \times \frac{1}{2} \times t \quad (4.4)$$

Berdasarkan persamaan 4.4, diperoleh luas area dibawah grafik yaitu sebesar 699.394,3 Ws atau 194,27 Wh untuk PV *solar tracker* dan 436.536,6 Ws atau 121,26 Wh untuk PV *fixed*. peningkatan energi menggunakan *solar tracker* adalah,

$$\begin{aligned} \text{Peningkatan energi} &= \text{energi}_{\text{PV tracking}} - \text{energi}_{\text{PV fixed}} \\ &= 194,27 \text{ Wh} - 121,26 \\ &= 73,01 \text{ Wh} \end{aligned}$$

Sedangkan konsumsi energi untuk sistem penjejak matahari adalah sebagai berikut:

- Board Arduino dengan masukan  $V_{in} = 5 \text{ volt}$ ,  $I_{in} = 50\text{mA}$

$$\begin{aligned} P_{\text{out}_{\text{arduino}}} &= 0,25 \text{ watt} \\ E_{\text{out}_{\text{arduino}}} &= P_{\text{out}_{\text{arduino}}} \times t_{\text{operasi}} \\ &= 0,25 \times 32400 \text{ s} \\ &= 8100 \text{ W.s} = 2,25 \text{ Wh} \end{aligned}$$

- Motor *Pitch* dengan masukan  $V_{in} = 12 \text{ volt}$ ,  $I_{in} = 0.18\text{A}$

$$\begin{aligned} P_{\text{out}_{\text{motor1}}} &= 2,16 \text{ watt} \\ E_{\text{out}_{\text{motor1}}} &= P_{\text{out}_{\text{motor1}}} \times t_{\text{operasi}} \\ &= 2,16 \times 32400 \text{ s} \\ &= 69984 \text{ W.s} = 19,44 \text{ Wh} \end{aligned}$$

- Motor *Yaw* dengan masukan  $V_{in} = 12 \text{ volt}$ ,  $I_{in} = 0.17\text{A}$

$$\begin{aligned} P_{\text{out}_{\text{motor2}}} &= 2.4 \text{ watt} \\ E_{\text{out}_{\text{motor2}}} &= P_{\text{out}_{\text{motor2}}} \times t_{\text{operasi}} \\ &= 2,04 \times 32400 \text{ s} \\ &= 66096 \text{ W.s} = 18,36 \text{ Wh} \end{aligned}$$

Total energi yang digunakan untuk sistem elektrik sebesar 40,05 Wh. Sehingga energi yang dapat disimpan setelah digunakan untuk suplai energi sistem solar tracker tersebut adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} E_{total\ PV\ tracking} &= P(t)_{tracking} - (P(t)_{elektrik}) \\ &= 194,27 - 40,05 = 154,22\ Wh \end{aligned}$$

Dimana,

$$\eta_{PV} = \frac{E_{tracking} - E_{fixed}}{E_{fixed}} \times 100\% \quad (4.5)$$

Sehingga dengan menggunakan persamaan 4.5. Diperoleh nilai efisiensi *PV mobile combined active-passive solar tracker* dibandingkan dengan *PV fixed* adalah sebesar 27,18%.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Parameter beberapa komponen yang digunakan pada sistem ini diperoleh melalui data-data hasil pengukuran langsung. Parameter tersebut diantaranya yaitu pada sensor LDR diketahui parameter berupa kuat pencahayaan matahari. Parameter motor DC yaitu kecepatan motor (rpm) dan torsi motor ( $T_m$ ). Parameter pada PV yaitu tegangan dan arus.
2. Kontrol fuzzy-PI yang digunakan pada sistem *mobile active-passive solar tracker* menunjukkan performansi yang baik dalam mengendalikan sistem tersebut. Dari data pengujian respon sudut *yaw* diperoleh nilai *rise time* ( $t_r$ ) sebesar 5,612 s, *delay time* ( $t_d$ ) sebesar 2,806, *peak time* ( $t_p$ ) sebesar 6,33 s, *settling time* ( $t_s$ ) sebesar 10,2 s, *maximum overshoot*(%) sebesar 0,045 dan *error steady state* ( $e_{ss}$ ) sebesar 0,4. Dan untuk pengujian respon sudut *pitch* diperoleh nilai *rise time* ( $t_r$ ) sebesar 2,66 s, *delay time* ( $t_d$ ) sebesar 1,33, *peak time* ( $t_p$ ) sebesar 3 s, *settling time* ( $t_s$ ) sebesar 5,25 s, *maximum overshoot*(%) sebesar 0,25 dan *error steady state* ( $e_{ss}$ ) sebesar 0,28.
3. Perancangan *mobile active-passive solar tracker* mendapatkan peningkatan daya yang tinggi dibandingkan dengan photovoltaik yang diletakkan *fixed*. Peningkatan efisiensi sistem mampu mencapai 27,18%, yaitu selisih peningkatan dayanya sebesar 32,96 Wh.

#### 5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan oleh penulis untuk pengembangan selanjutnya adalah:

1. Penggunaan motor DC sebaiknya menggunakan gearbox yang terbuat dari besi atau baja, bukan plastik. Karena plastik

sangat rentan rusak apalagi dilakukan pengambilan data di jalan yang tidak rata.

2. Wiring kabel dengan sensor memerlukan kabel dan port yang baik, kalau bisa tidak menggunakan kabel jumper, karena jika terkena goncangan di jalan yang tidak rata, akan mengakibatkan pembacaan yang tiba-tiba acak dan harus di *restart system*.
3. Penelitian kedepan bisa mengembangkan monitoring data berbasis *Internet of Thing (IoT)*, karena *user interface* yang disajikan lebih menarik dan modern.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Abadi, A. Musyafa and A. Soeprijanto, "Design and Implementation of Active Two Axes Solar Tracking System Using Particle Swarm Optimization Based Fuzzy Logic Controller," *International Review on Modelling and Simulations (I.RE.MO.S.)*, 2015.
- [2] N. Manafeddin, "DC Motor POsition Control Using Fuzzy Propotional-Derivative Controllers with Different Deffuzification Methods," *Turkish Journal Of Fuzzy Systems*, 2010.
- [3] J. Nelson, *The Physics Of Solar Cell*, UK: Imperial Collage Press, 2003.
- [4] M. P. Kurnia, "Penelusuran Daya Maksimum Pada Panel Photovoltaic Menggunakan Kontrol Logika Fuzzy Di Kota Surabaya," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2013.
- [5] B. Setiawan, H. M. Purnomo and M. Ashari, "Artifical Intelligent based Modeling of Mobile Solar Tracker for a Large Ship," 2009.
- [6] Mairizwan and Hendro, "Perancangan dan Pembuatan Prototype Sistem Tracker Sel Surya untuk Mengikuti Arah Gerak Matahari," *Prosiding Simposium Nasional Inovasi dan Pembelajaran Sains*, p. 2, 2015.
- [7] D. S. S. Jain and S. S. Cheema, "Simulation Studies on Dual Axis Solar Photovoltaic Panel Tracking System," *Electrical & Instrumentation Engineering Department Thapar University, Patiala*, 2012.
- [8] L. H. Zhao, W. Chongyang and X. L. Hao , "An Improved PV System Based on Dual Axis Solar Tracking and MPPT," *Proceedings of 2014 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, China*, 2014.

- [9] A. A. Balabel, A. M and S. F. A, "Design and Performance of Solar Tracking Photovoltaic System," *International Journal of Control, Automation And System*, p. Vol 1 No 2, 2013.
- [10] Wahyudi, I. Setiawan and E. Tigor, "Tuning Parameter Kontrol Proportional-Integral Menggunakan Sugeno Fuzzy Inference System," *Transmisi Jurnal Teknik Elektro Jilid 10*, p. 97, 2008.
- [11] C. T. Cooperation, Measuring Motor Parameter, Hopkinton, 2013.
- [12] F. M. Al-Naima, R. S. Ali and A. A. J, "Solar Tracking System Design Based on GPS and Astronomical Equations," *IT-DREPS Conference & Exhibition*, 2013.
- [13] Understanding DC Motor.
- [14] B. "Outlook Energi Indonesia 2016," in *Pengembangan Energi untuk Mendukung Industri Hijau*, BPPT, 2016.
- [15] I. Fatoni, "Makalah Energi Terbarukan (Renewable Energi)," Malang, 2015.
- [16] K. A. Permatasari, "Perancangan Sistem Pengendalian Sudut Pitch dan Yaw Pada Panel Surya Menggunakan Metode PSO-Fuzzy," Surabaya, 2015.
- [17] W. I. Setiawan and E. Tigor, "Tuning Parameter Kontrol Proporsional Integral," vol. Jilid 10, no. Nomor 2, pp. hlm 97-102, Juni 2008.
- [18] K. Ogata, New Jersey, 2004.
- [19] I. Abadi, A. Musyafa and A. Soeprijanto, "Type-2 Fuzzy Logic Controller Based PV Passive Two-Axis Solar Tracking System," *International Review of Electrical Engineering (IREE)*, vol. Vol 10, no. no.3, 2015.



- [20] B. Setiawan, M. H. Purnomo and M. Ashari, "Artificial Intelligent based Modeling of Mobile Solar Tracker for a Large Ship," 2009.
- [21] A. B. Sproul, "Derivation of the solar geometric relationships using vector analysis," *Science Direct*, 1 May 2006.
- [22] E. B. Babatunde, "Solar Radiation, a Friendly Renewable Energy Source," Covenant University, Ota, Ogun State, Nigeria, 1995.
- [23] Harifuddin, "Pemodelan dan Pengendalian Motor DC Terkendali Jangkar," *Media Elektrik*, vol. 3 , no. 1, 2008.
- [24] A. F. Babgei, "Rancang Bangun Maximum Power Point Tracker (MPPT) Pada Panel Surya Dengan Menggunakan Metode Fuzzy," 2011.
- [25] N. Brilianti, "Implementasi Kontrol Fuzzy Pada Sistem Penjejak Matahari Aktif Dua Derajat Kebebasan Untuk Meningkatkan Penerimaan Energi Matahari Photovoltaic," 2015.
- [26] A. I. Nugraha, "Implementasi Teknik Maximum Power Point Tracking (Mppt) Pada Sistem Penjejak Matahari Berbasis Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)," Surabaya, 2017.
- [27] Y. A. Prabowo, A. Triwiyatno and S. , "Perancangan Dan Simulasi Sistem Tracking Panel Surya Dua Derajat Kebebasan Menggunakan Metode Kendali Logika Fuzzy," vol. Vol 2, no. No.3, September 2013.
- [28] H. S. Akbar, "Efficient Singel Axis Sun Tracker Design for Photovoltaic System Applications," *Research D=Gate*, vol. 2, no. 2, p. 7, 2017.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## LAMPIRAN

### Lampiran A.

**Tabel 1.** Pengambilan data uji sensor arus ACS712-20A

Arus masukan sensor (A)	Tegangan keluaran sensor (V)								Tegangan rata-rata keluaran sensor (V)
	Uji naik				Uji Turun				
	1	2	3	Rata-rata	1	2	3	Rata-rata	
0	2,48	2,48	2,48	2,48	2,46	2,46	2,46	2,46	2,47
0,2	2,46	2,46	2,46	2,46	2,44	2,44	2,44	2,44	2,45
0,4	2,44	2,44	2,44	2,44	2,42	2,42	2,42	2,42	2,43
0,6	2,42	2,42	2,42	2,42	2,4	2,4	2,4	2,4	2,41
0,8	2,4	2,4	2,4	2,4	2,39	2,38	2,39	2,39	2,39
1	2,38	2,38	2,38	2,38	2,36	2,37	2,36	2,36	2,37
1,2	2,36	2,36	2,36	2,36	2,35	2,34	2,35	2,35	2,35
1,4	2,34	2,34	2,34	2,34	2,33	2,32	2,33	2,33	2,33
1,6	2,32	2,32	2,32	2,32	2,31	2,31	2,32	2,31	2,32
1,8	2,3	2,3	2,3	2,3	2,29	2,29	2,29	2,29	2,30
2	2,28	2,28	2,28	2,28	2,27	2,27	2,27	2,27	2,28
2,2	2,26	2,26	2,26	2,26	2,25	2,24	2,25	2,25	2,25
2,4	2,24	2,24	2,24	2,24	2,23	2,23	2,23	2,23	2,24
2,6	2,22	2,22	2,22	2,22	2,21	2,21	2,21	2,21	2,22
2,8	2,2	2,2	2,2	2,2	2,19	2,19	2,19	2,19	2,20
3	2,18	2,18	2,18	2,18	2,17	2,16	2,17	2,17	2,17
3,2	2,16	2,16	2,16	2,16	2,15	2,15	2,15	2,15	2,16
3,4	2,14	2,13	2,14	2,14	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13
3,6	2,11	2,12	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11
3,8	2,09	2,1	2,09	2,09	2,09	2,09	2,09	2,09	2,09
4	2,08	2,07	2,07	2,07	2,07	2,07	2,07	2,07	2,07
4,2	2,05	2,06	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05
4,4	2,04	2,03	2,03	2,03	2,03	2,03	2,03	2,03	2,03
4,6	2,01	2,02	2,02	2,02	2,01	2,01	2,01	2,01	2,01
4,8	2	1,99	1,99	1,99	1,99	1,99	199	67,7	34,83
5	1,97	1,98	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97

Tabel 2. Data kalibrasi sensor arus ACS712-20A

$I_{ref}$ (A)	$Xi$ Pembacaan Sensor Arus ACS712-20A (A)					$\overline{Xi}$	$\frac{\sum (Xi + \overline{Xi})^2}{n - 1}$	$\sigma$	$U_{A1}$
	1	2	3	4	5				
0	0	0,1	0	0	0	0,02	0,002	0,04	0,02
0,2	0,2	0,15	0,24	0,2	0,15	0,188	0,00147	0,04	0,0171
0,4	0,39	0,34	0,44	0,29	0,39	0,37	0,00325	0,06	0,0255
0,6	0,59	0,54	0,64	0,59	0,54	0,58	0,00175	0,04	0,0187
0,8	0,83	0,73	0,78	0,68	0,88	0,78	0,00625	0,08	0,0354
1	0,98	1,03	0,93	0,88	0,98	0,96	0,00325	0,06	0,0255
1,2	1,22	1,17	1,17	1,12	1,22	1,18	0,00175	0,04	0,0187
1,4	1,42	1,47	1,37	1,32	1,42	1,4	0,00325	0,06	0,0255
1,6	1,61	1,56	1,52	1,56	1,66	1,582	0,00292	0,05	0,0242
1,8	1,81	1,76	1,86	1,81	1,76	1,8	0,00175	0,04	0,0187
2	2,05	1,96	2	1,91	2	1,984	0,00273	0,05	0,0234
2,2	2,2	2,15	2,25	2,2	2,2	2,2	0,00125	0,04	0,0158
2,4	2,44	2,39	2,44	2,35	2,35	2,394	0,00203	0,05	0,0201
2,6	2,64	2,59	2,54	2,64	2,59	2,6	0,00175	0,04	0,0187
2,8	2,74	2,79	2,83	2,74	2,79	2,778	0,00147	0,04	0,0171
3	3,03	3,03	3,08	2,98	2,93	3,01	0,00325	0,06	0,0255
3,2	3,18	3,23	3,13	3,18	3,23	3,19	0,00175	0,04	0,0187
3,4	3,42	3,47	3,37	3,32	3,42	3,4	0,00325	0,06	0,0255
3,6	3,57	3,52	3,62	3,57	3,62	3,58	0,00175	0,04	0,0187
3,8	3,78	3,79	3,8	3,81	3,8	3,796	0,00013	0,01	0,0051
4	4,01	3,96	3,91	4,01	4,06	3,99	0,00325	0,06	0,0255
4,2	4,2	4,15	4,2	4,15	4,25	4,19	0,00175	0,04	0,0187
4,4	4,45	4,4	4,35	4,4	4,4	4,4	0,00125	0,04	0,0158
4,6	4,59	4,55	4,64	4,59	4,64	4,602	0,00147	0,04	0,0171
4,8	4,79	4,74	4,84	4,79	4,84	4,8	0,00175	0,04	0,0187
5	5,08	4,99	4,94	5,03	4,99	5,006	0,00273	0,05	0,0234
5,2	5,23	5,18	5,28	5,23	5,18	5,22	0,00175	0,04	0,0187

**Lampiran B.****Tabel 3.** Pengambilan data uji sensor tegangan

Tegangan masukan sensor (A)	Tegangan keluaran sensor (V)								Tegangan rata-rata keluaran sensor (V)
	Uji naik				Uji Turun				
	1	2	3	Rata-rata	1	2	3	Rata-rata	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,20
2	0,4	0,4	0,41	0,403	0,41	0,42	0,41	0,413	0,41
3	0,62	0,62	0,62	0,62	0,61	0,6	0,6	0,603	0,61
4	0,81	0,8	0,8	0,803	0,81	0,81	0,82	0,813	0,81
5	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
6	1,21	1,22	1,21	1,213	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21
7	1,42	1,42	1,42	1,42	1,41	1,42	1,41	1,413	1,42
8	1,61	1,62	1,61	1,613	1,63	1,61	1,61	1,617	1,62
9	1,82	1,83	1,84	1,83	1,81	1,81	1,81	1,81	1,82
10	1,99	1,98	2,01	1,993	2,01	2,01	2,01	2,01	2,00
11	2,2	2,25	2,24	2,23	2,21	2,2	2,21	2,207	2,22
12	2,4	2,4	2,39	2,397	2,41	2,41	2,41	2,41	2,40
13	2,63	2,64	2,62	2,63	2,61	2,61	2,61	2,61	2,62
14	2,81	2,82	2,82	2,817	2,81	2,81	2,81	2,81	2,81
15	3,02	3,03	3,02	3,023	3,01	3,02	3,01	3,013	3,02
16	3,22	3,23	3,22	3,223	3,22	3,23	3,22	3,223	3,22
17	3,43	3,41	3,41	3,417	3,42	3,41	3,42	3,417	3,42
18	3,63	3,63	3,63	3,63	3,63	3,63	3,63	3,63	3,63
19	3,81	3,81	3,81	3,81	3,82	3,82	3,83	3,823	3,82
20	4,02	4,02	4,01	4,017	4,03	4,03	4,03	4,03	4,02
21	4,23	4,24	4,22	4,23	4,23	4,23	4,23	4,23	4,23
22	4,43	4,42	4,43	4,427	4,44	4,45	4,42	4,437	4,43
23	4,63	4,62	4,62	4,623	4,62	4,62	4,62	4,62	4,62
24	4,84	4,82	4,83	4,83	4,82	4,82	4,82	4,82	4,83
25	5,02	5,02	5,04	5,027	5,03	5,03	5,03	5,03	5,03



### Lampiran C.

**Tabel 5.** Pengambilan data kalibrasi sudut *pitch* sensor CMPS10

$\angle_{\text{ref}}$ ( $^{\circ}$ )	$Xi$ Pembacaan Sudut <i>Pitch</i> Sensor CMPS10 ( $^{\circ}$ )					$\bar{Xi}$	$\frac{\Sigma(Xi + \bar{Xi})^2}{n - 1}$	$\sigma$	$U_{A1}$
	1	2	3	4	5				
<b>0</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>5</b>	5	5	5	5	5	5	0	0	0
<b>10</b>	10	10	10	10	10	10	0	0	0
<b>15</b>	15	15	15	14	15	14,8	0,2	0,44721	0,2
<b>20</b>	20	20	20	20	19	19,8	0,2	0,44721	0,2
<b>25</b>	25	25	25	25	24	24,8	0,2	0,44721	0,2
<b>30</b>	30	30	29	30	30	29,8	0,2	0,44721	0,2
<b>35</b>	35	35	35	35	35	35	0	0	0
<b>40</b>	40	40	40	40	40	40	0	0	0
<b>45</b>	45	45	45	45	45	45	0	0	0
<b>50</b>	49	49	48	48	49	48,6	0,3	0,54772	0,244949
<b>55</b>	54	54	54	53	53	53,6	0,3	0,54772	0,244949
<b>60</b>	59	58	59	59	59	58,8	0,2	0,44721	0,2
<b>65</b>	64	63	63	63	64	63,4	0,3	0,54772	0,244949
<b>70</b>	68	68	67	67	67	67,4	0,3	0,54772	0,244949
<b>75</b>	73	73	73	73	72	72,8	0,2	0,44721	0,2
<b>80</b>	77	76	77	77	76	76,6	0,3	0,54772	0,244949
<b>85</b>	82	82	82	82	82	82	0	0	0
<b>90</b>	87	87	87	86	87	86,8	0,2	0,44721	0,2
<b>95</b>	93	93	92	93	92	92,6	0,3	0,54772	0,244949
<b>100</b>	97	97	97	97	97	97	0	0	0
<b>105</b>	103	103	103	102	103	102,8	0,2	0,44721	0,2
<b>110</b>	107	106	107	107	107	106,8	0,2	0,44721	0,2
<b>115</b>	112	113	112	113	113	112,6	0,3	0,54772	0,244949
<b>120</b>	117	117	116	116	117	116,6	0,3	0,54772	0,244949
<b>125</b>	122	122	122	121	121	121,6	0,3	0,54772	0,244949
<b>130</b>	126	126	126	126	127	126,2	0,2	0,44721	0,2
<b>135</b>	132	131	132	132	131	131,6	0,3	0,54772	0,244949
<b>140</b>	137	137	137	136	136	136,6	0,3	0,54772	0,244949
<b>145</b>	141	141	142	142	141	141,4	0,3	0,54772	0,244949
<b>150</b>	146	146	147	146	146	146,2	0,2	0,44721	0,2
<b>155</b>	152	152	151	152	152	151,8	0,2	0,44721	0,2
<b>160</b>	157	157	157	157	156	156,8	0,2	0,44721	0,2
<b>165</b>	162	162	161	162	162	161,8	0,2	0,44721	0,2
<b>170</b>	167	167	167	166	166	166,6	0,3	0,54772	0,244949
<b>175</b>	172	171	172	172	171	171,6	0,3	0,54772	0,244949
<b>180</b>	179	180	180	180	180	179,8	0,2	0,44721	0,2

**Lampiran D.**  
**Tabel 6.** Pengambilan data kalibrasi sudut yaw sensor CMPS10

$\angle_{\text{ref}}$ ( $^{\circ}$ )	$Xi$ Pembacaan Sudut Yaw Sensor CMPS10 ( $^{\circ}$ )					$\overline{Xi}$	$\frac{\sum(Xi + \overline{Xi})^2}{n - 1}$	$\sigma$	$U_{A1}$
	1	2	3	4	5				
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	11,6	12	11,9	12,4	12,7	12,12	0,19	0,43	0,193
20	21,7	22,3	22,1	22,5	22,5	22,22	0,11	0,33	0,15
30	31,3	31,7	31,5	31,9	32,3	31,74	0,15	0,38	0,172
40	41,2	41,9	42,5	42,2	42,6	42,08	0,32	0,56	0,252
50	52,1	52,6	53,1	53,5	53,3	52,92	0,32	0,57	0,254
60	62,7	62,5	62,9	63,3	62,9	62,86	0,09	0,3	0,133
70	72,3	72,7	72,1	72,6	73,1	72,56	0,15	0,38	0,172
80	82,6	83,1	82,7	83,2	82,9	82,9	0,07	0,25	0,114
90	93,1	92,7	93,5	93,2	92,8	93,06	0,1	0,32	0,144
100	102,9	103,4	103,1	103,5	103,3	103,24	0,06	0,24	0,108
110	112,6	112,2	112,9	113,3	113,6	112,92	0,31	0,55	0,248
120	123,6	123,1	122,7	123,2	123,5	123,22	0,13	0,36	0,159
130	132,9	133,5	133,2	133,6	133,2	133,28	0,08	0,28	0,124
140	143,4	143,1	143,5	143,7	143,4	143,42	0,05	0,22	0,097
150	153,8	153,4	153,2	153,4	153,7	153,5	0,06	0,24	0,11
160	163,4	163,8	163,2	163,3	163,7	163,48	0,07	0,26	0,116
170	173,7	173,9	174,1	173,8	174,2	173,94	0,04	0,21	0,093
180	184,1	183,8	183,7	183,9	184,2	183,94	0,04	0,21	0,093
190	194,3	194,1	194,5	194,6	194,7	194,44	0,06	0,24	0,108
200	204,4	204,8	204,7	204,3	204,6	204,56	0,04	0,21	0,093
210	214,6	214,4	214,1	214,7	214,3	214,42	0,06	0,24	0,107
220	223,7	224,1	223,8	223,6	223,9	223,82	0,04	0,19	0,086
230	233,1	232,7	232,4	232,8	232,3	232,66	0,1	0,32	0,144
240	242,3	242,7	242,4	242,9	243,2	242,7	0,13	0,37	0,164
250	251,9	252,3	252,7	252,1	252,5	252,3	0,1	0,32	0,141
260	261,5	261,7	261,3	261,9	262,3	261,74	0,15	0,38	0,172
270	271,3	271,9	272,3	272,1	272,4	272	0,19	0,44	0,195
280	281,5	281,9	282,4	282,1	282,3	282,04	0,13	0,36	0,16
290	291,7	291,9	292,3	292,5	292,3	292,14	0,11	0,33	0,147
300	302,1	301,7	302,3	302,4	302,1	302,12	0,07	0,27	0,12
310	311,2	311,4	311,6	311,2	311,7	311,42	0,05	0,23	0,102
320	320,7	320,3	320,9	321,3	320,8	320,8	0,13	0,36	0,161
330	330,4	330,7	330,2	330,9	330,3	330,5	0,08	0,29	0,13
340	340,2	339,7	339,5	339,9	340,1	339,88	0,08	0,29	0,128
350	349,4	349,1	349,6	349,7	349,5	349,46	0,05	0,23	0,103
360	358,9	359,3	359,7	359,4	359,6	359,38	0,1	0,31	0,139



**Lampiran E.****Tabel 7.** Pengambilan data *mobile passive solar tracker*

PV Pasif Track				PV Fixed Pasif		
PV Track				PV Fixed		
Waktu	Arus	Tegangan	Daya	Arus	Tegangan	Daya
<b>14.00.00</b>	0,08	8,64	0,6912	0,05	6,16	0,308
<b>14.00.05</b>	0,12	12,13	1,4556	0,07	9,65	0,6755
<b>14.00.10</b>	0,1	14,72	1,472	0,05	12,24	0,612
<b>14.00.15</b>	0,14	16,24	2,2736	0,09	13,76	1,2384
<b>14.00.20</b>	0,12	13,87	1,6644	0,07	11,39	0,7973
<b>14.00.25</b>	0,2	13,87	2,774	0,15	11,39	1,7085
<b>14.00.30</b>	0,13	13,92	1,8096	0,08	11,44	0,9152
<b>14.00.35</b>	0,17	14,27	2,4259	0,12	11,79	1,4148
<b>14.00.40</b>	0,1	14,63	1,463	0,05	12,15	0,6075
<b>14.00.45</b>	0,27	15,08	4,0716	0,22	12,6	2,772
<b>14.00.50</b>	0,1	15,27	1,527	0,05	12,79	0,6395
<b>14.00.55</b>	0,12	15,17	1,8204	0,07	12,69	0,8883
<b>14.01.00</b>	0,57	15,47	8,8179	0,52	12,99	6,7548
<b>14.01.05</b>	0,1	15,43	1,543	0,05	12,95	0,6475
<b>14.01.10</b>	0,13	15,49	2,0137	0,08	13,01	1,0408
<b>14.01.15</b>	0,1	15,77	1,577	0,05	13,29	0,6645
<b>14.01.20</b>	0,1	17,37	1,737	0,05	14,89	0,7445
<b>14.01.25</b>	0,47	15,91	7,4777	0,42	13,43	5,6406
<b>14.01.30</b>	0,1	16,12	1,612	0,05	13,64	0,682
<b>14.01.35</b>	0,12	15,15	1,818	0,07	12,67	0,8869
<b>14.01.40</b>	0,1	15,47	1,547	0,05	12,99	0,6495
<b>14.01.45</b>	0,13	16,12	2,0956	0,08	13,64	1,0912
<b>14.01.50</b>	0,18	16,17	2,9106	0,13	13,69	1,7797
<b>14.01.55</b>	0,33	16,47	5,4351	0,28	13,99	3,9172
<b>14.02.00</b>	0,41	17,17	7,0397	0,36	14,69	5,2884

<b>14.02.05</b>	0,37	17,47	6,4639	0,32	14,99	4,7968
<b>14.02.10</b>	0,42	17,31	7,2702	0,37	14,83	5,4871
<b>14.02.15</b>	0,16	16,21	2,5936	0,11	13,73	1,5103
<b>14.02.20</b>	0,13	15,37	1,9981	0,08	12,89	1,0312
<b>14.02.25</b>	0,27	15,57	4,2039	0,22	13,09	2,8798
<b>14.02.30</b>	0,22	14,93	3,2846	0,17	12,45	2,1165
<b>14.02.35</b>	0,47	15,07	7,0829	0,42	12,59	5,2878
<b>14.02.40</b>	0,14	14,87	2,0818	0,09	12,39	1,1151
<b>14.02.45</b>	0,24	14,77	3,5448	0,19	12,29	2,3351
<b>14.02.50</b>	0,08	14,93	1,1944	0,03	12,45	0,3735
<b>14.02.55</b>	0,12	15,42	1,8504	0,07	12,94	0,9058
<b>14.03.00</b>	0,1	15,39	1,539	0,05	12,91	0,6455
<b>14.03.05</b>	0,14	15,27	2,1378	0,09	12,79	1,1511
<b>14.03.10</b>	0,1	15,39	1,539	0,05	12,91	0,6455
<b>14.03.15</b>	0,37	15,42	5,7054	0,32	12,94	4,1408
<b>14.03.20</b>	0,1	15,47	1,547	0,05	12,99	0,6495
<b>14.03.25</b>	0,12	15,32	1,8384	0,07	12,84	0,8988
<b>14.03.30</b>	0,1	15,25	1,525	0,05	12,77	0,6385
<b>14.03.35</b>	0,13	15,27	1,9851	0,08	12,79	1,0232
<b>14.03.40</b>	0,1	15,32	1,532	0,05	12,84	0,642
<b>14.03.45</b>	0,12	15,21	1,8252	0,07	12,73	0,8911
<b>14.03.50</b>	0,06	15,17	0,9102	0,01	12,69	0,1269
<b>14.03.55</b>	0,1	15,29	1,529	0,05	12,81	0,6405
<b>14.04.00</b>	0,13	15,14	1,9682	0,08	12,66	1,0128
<b>14.04.05</b>	0,1	15,1	1,51	0,05	12,62	0,631
<b>14.04.10</b>	0,12	15,87	1,9044	0,07	13,39	0,9373
<b>14.04.15</b>	0,2	16,09	3,218	0,15	13,61	2,0415
<b>14.04.20</b>	0,27	16,27	4,3929	0,22	13,79	3,0338
<b>14.04.25</b>	0,41	17,08	7,0028	0,36	14,6	5,256

<b>14.04.30</b>	0,37	17,05	6,3085	0,32	14,57	4,6624
<b>14.04.35</b>	0,38	17,02	6,4676	0,33	14,54	4,7982
<b>14.04.40</b>	0,18	17,07	3,0726	0,13	14,59	1,8967
<b>14.04.45</b>	0,35	16,53	5,7855	0,3	14,05	4,215
<b>14.04.50</b>	0,29	16,2	4,698	0,24	13,72	3,2928
<b>14.04.55</b>	0,21	14,52	3,0492	0,16	12,04	1,9264
<b>14.05.00</b>	0,15	13,97	2,0955	0,1	11,49	1,149
<b>14.05.05</b>	0,16	14,41	2,3056	0,11	11,93	1,3123
<b>14.05.10</b>	0,13	15,09	1,9617	0,08	12,61	1,0088
<b>14.05.15</b>	0,27	15,52	4,1904	0,22	13,04	2,8688
<b>14.05.20</b>	0,22	15,31	3,3682	0,17	12,83	2,1811
<b>14.05.25</b>	0,37	15,27	5,6499	0,32	12,79	4,0928
<b>14.05.30</b>	0,32	15,29	4,8928	0,27	12,81	3,4587
<b>14.05.35</b>	0,24	15,25	3,66	0,19	12,77	2,4263
<b>14.05.40</b>	0,15	15,22	2,283	0,1	12,74	1,274
<b>14.05.45</b>	0,16	15,29	2,4464	0,11	12,81	1,4091
<b>14.05.50</b>	0,13	13,18	1,7134	0,08	10,7	0,856
<b>14.05.55</b>	0,27	13,47	3,6369	0,22	10,99	2,4178
<b>14.06.00</b>	0,22	13,87	3,0514	0,17	11,39	1,9363
<b>14.06.05</b>	0,33	14,32	4,7256	0,28	11,84	3,3152
<b>14.06.10</b>	0,14	15,27	2,1378	0,09	12,79	1,1511
<b>14.06.15</b>	0,24	15,29	3,6696	0,19	12,81	2,4339
<b>14.06.20</b>	0,1	15,32	1,532	0,05	12,84	0,642
<b>14.06.25</b>	0,12	15,35	1,842	0,07	12,87	0,9009
<b>14.06.30</b>	0,2	15,31	3,062	0,15	12,83	1,9245

**Lampiran F.****Tabel 8.** Pengambilan data *mobile active solar tracker*

PV Aktif Track				PV Fixed Aktif		
Waktu	PV Track			PV Fixed		
	Arus	Tegangan	Daya	Arus	Tegangan	Daya
<b>13.30.00</b>	0,9	13,2	11,88	0,56	11,79	6,6024
<b>13.30.10</b>	0,94	15,24	14,3256	0,68	12,83	8,7244
<b>13.30.20</b>	0,9	16,8	15,12	0,77	13,39	10,3103
<b>13.30.30</b>	0,42	16,7	7,014	0,37	13,83	5,1171
<b>13.30.40</b>	0,59	15,37	9,0683	0,4	12,96	5,184
<b>13.30.50</b>	0,85	18,4	15,64	0,69	13,41	9,2529
<b>13.31.00</b>	1,2	18,96	22,752	0,54	14,32	7,7328
<b>13.31.10</b>	1,1	19,41	21,351	0,49	14,89	7,2961
<b>13.31.20</b>	0,45	18,6	8,37	0,38	15,2	5,776
<b>13.31.30</b>	0,57	15,6	8,892	0,44	13,19	5,8036
<b>13.31.40</b>	0,75	16,78	12,585	0,42	12,42	5,2164
<b>13.31.50</b>	0,9	16,4	14,76	0,52	14,99	7,7948
<b>13.32.00</b>	0,86	17,2	14,792	0,56	15,79	8,8424
<b>13.32.10</b>	1,2	16,92	20,304	0,68	15,51	10,5468
<b>13.32.20</b>	0,96	19,41	18,6336	0,76	18	13,68
<b>13.32.30</b>	0,9	18,64	16,776	0,72	17,23	12,4056

## Lampiran G.

### Sketch Program

```

unsigned long time;
long lastReadingLog = 0;
float readingInterval = 2000;

#define Dir1      10          // INA motor pin BAWAH
#define Dir2      9           // INB motor pin
#define PWM1      8           // PWM motor pin
#define Dir3      11          // INA motor pin ATAS
#define Dir4      12          // INB motor pin
#define PWM2      13          // PWM motor pin
int LDR1 = A6; int kiri = 0;
int LDR2 = A7; int atas = 0;
int LDR3 = A4; int kanan = 0;
int LDR4 = A5; int bawah = 0;

const int numReadings1 = 10;
int readings1[numReadings1]; // the readings from the analog input
int readIndex1 = 0;          // the index of the current reading
int total1 = 0;              // the running total
const int numReadings2 = 10;
int readings2[numReadings2];
int readIndex2 = 0;
int total2 = 0;
const int numReadings3 = 10;
int readings3[numReadings3];
int readIndex3 = 0;
int total3 = 0;
const int numReadings4 = 10;
int readings4[numReadings4];
int readIndex4 = 0;
int total4 = 0;

float vLDR1; float vLDR2; float vLDR3; float vLDR4;
char str[6];

```

```

/*working variables*/
unsigned long lastTime_yaw;
unsigned long lastTime_pitch;
double Input_yaw, Output_yaw, Setpoint_yaw;
double errSum_yaw, lastInput_yaw;
double Input_pitch, Output_pitch, Setpoint_pitch;
double errSum_pitch, lastInput_pitch;
double kpy, kiy, kdy;
double kpp, kip, kdp;
double errorlawasy=0;
double erroranyar;
double deltaerror;
double errorlawasp=0;
int SampleTime = 1000; //1 sec
#include "fis_header.h"

// Number of inputs to the fuzzy inference system
const int fis_gcI = 2;
// Number of outputs to the fuzzy inference system
const int fis_gcO = 2;
// Number of rules to the fuzzy inference system
const int fis_gcR = 9;

FIS_TYPE g_fisInput[fis_gcI];
FIS_TYPE g_fisOutput[fis_gcO];

//PASIF
#include <Wire.h>
#define ADDRESS 0x61 // Defines address of
CMPS10
#define ADDRESSp 0x60

byte highByte, lowByte, fine; // highByte and lowByte store
high and low bytes of the bearing and fine stores decimal place of
bearing

```

```
char pitch, roll;           // Stores pitch and roll values of
CMPS10, chars are used because they support signed value
```

```
#include <DS3231.h>
DS3231 rtc(SDA,SCL);
```

```
Time t;
int saiki;
String jam;
```

```
int joyPin1 = 8;// slider variable connecetd to analog pin 0
int joyPin2 = 9;// slider variable connecetd to analog pin 1
int value1 = 0;// variable to read the value from the analog pin 0
int value2 = 0;// variable to read the value from the analog pin 1
int value3=0;
int klik=39;
int tes=0;
bool cek=false;
bool pagi=true;
int tsebelum=0;
```

```
#include "TSL2561.h"
TSL2561 tsl(TSL2561_ADDR_FLOAT);
```

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd1(0x3D, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7,3, POSITIVE);
LiquidCrystal_I2C lcd2(0x3F, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7, 3, POSITIVE);
LiquidCrystal_I2C lcd3(0x3E, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7, 3, POSITIVE);
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
float arus;
float tegangan;
float voltase;
float nilaiarus;
int bacaarus;
int bacategangan;
const float vpp = 0.0048875855327468;
```

```

File myFile;
const int pinCS = 53;

int treatValue(int data) {
return (data * 9 / 1024) + 48;
}

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(pinCS, OUTPUT);
  pinMode(Dir1, OUTPUT); digitalWrite(Dir1, LOW);
  pinMode(Dir2, OUTPUT); digitalWrite(Dir2, LOW);
  pinMode(PWM1, OUTPUT);
  pinMode(Dir3, OUTPUT); digitalWrite(Dir3, LOW);
  pinMode(Dir4, OUTPUT); digitalWrite(Dir4, LOW);
  pinMode(PWM2, OUTPUT);

  for (int thisReading1 = 0; thisReading1 < numReadings1;
thisReading1++) {
    readings1[thisReading1] = 0;
  }
  for (int thisReading2 = 0; thisReading2 < numReadings2;
thisReading2++) {
    readings2[thisReading2] = 0;
  }
  for (int thisReading3 = 0; thisReading3 < numReadings3;
thisReading3++) {
    readings3[thisReading3] = 0;
  }
  for (int thisReading4 = 0; thisReading4 < numReadings4;
thisReading4++) {
    readings4[thisReading4] = 0;
  }
  SetSampleTime(50);
}

```



```

//PASIF
Wire.begin();                      // Conects I2C
rtc.begin();
//rtc.setDOW(THURSDAY);    // Set Day-of-Week to SUNDAY
//rtc.setTime(22, 22, 30);  // Set the time to 12:00:00 (24hr format)
//rtc.setDate(7, 12, 2017);
pinMode(klik, INPUT_PULLUP);

    // You can change the gain on the fly, to adapt to brighter/dimmer
light situations
    tsl.setGain(TSL2561_GAIN_0X);    // set no gain (for bright
situations)
    //tsl.setGain(TSL2561_GAIN_16X);    // set 16x gain (for dim
situations)

    // Changing the integration time gives you a longer time over which to
sense light
    // longer timelines are slower, but are good in very low light
situations!
    tsl.setTiming(TSL2561_INTEGRATIONTIME_13MS); // shortest
integration time (bright light)
    //tsl.setTiming(TSL2561_INTEGRATIONTIME_101MS); // medium
integration time (medium light)
    //tsl.setTiming(TSL2561_INTEGRATIONTIME_402MS); // longest
integration time (dim light)

lcd1.begin(16, 2);
lcd2.begin(20, 4);
lcd3.begin(20, 4);

if (!SD.begin(pinCS)) {
    //Serial.println("Card failed, or not present");
    // don't do anything more:
    return;
}
//Serial.println("card initialized.");
}

```

```

void loop() {

    uint32_t lum = tsl.getFullLuminosity();
    uint16_t ir, full;
    ir = lum >> 16;
    full = lum & 0xFFFF;
    //Serial.print("IR: "); Serial.print(ir); Serial.print("\t\t");
    //Serial.print("Full: "); Serial.print(full); Serial.print("\t");
    //Serial.print("Visible: "); Serial.print(full - ir); Serial.print("\t");
    int lux=tsl.calculateLux(full,ir);
    //Serial.println(lux);
    Serial.print("\t");
    int bearing;                                // Stores full bearing

    Wire.beginTransmission(ADDRESS);           //starts communication
    with CMPS10
    Wire.write(2);                             //Sends the register we wish to start
    reading from
    Wire.endTransmission();

    Wire.beginTransmission(ADDRESSp);          //starts communication
    with CMPS10
    Wire.write(4);                             //Sends the register we wish to start
    reading from
    Wire.endTransmission();

    Wire.requestFrom(ADDRESS, 4);              // Request 4 bytes from
    CMPS10
    while(Wire.available() < 4);               // Wait for bytes to become
    available
    highByte = Wire.read();
    lowByte = Wire.read();

    Wire.requestFrom(ADDRESSp, 2);             // Request 4 bytes from
    CMPS10

```

```

    while(Wire.available() < 2);           // Wait for bytes to become
available
    pitch = Wire.read();
    roll = Wire.read();

    bearing = ((highByte<<8)+lowByte)/10;    // Calculate full bearing
    fine = ((highByte<<8)+lowByte)% 10;     // Calculate decimal place
of bearing

    lcd2.clear();

    RTCScreen();
    CMPSLDRScreen(bearing, fine, pitch, roll);

    lcd3.clear();
    lcd3.setCursor(0, 0);
    lcd3.print("Lux = ");
    lcd3.setCursor(6, 0);
    lcd3.print(lux);
    lcd3.setCursor(0, 2);
    lcd3.print("MODE ");
    value3=digitalRead(klik);
    if(value3==0)
    {
        tes++;
    }
    else
    {
        if(tes%2==1)
        {
            gerakjoystick();
            lcd3.setCursor(5, 2);
            lcd3.print("MANUAL");
        }
        else
        {
            tes=0;

```

```

if(lux>30000) //Aktif
{
    lcd3.setCursor(5, 2);
    lcd3.print("AKTIF");
    Serial.print(vLDR1);
    Serial.print(" 1-3 ");
    Serial.println(vLDR3);
    Serial.print(vLDR2);
    Serial.print(" 2-4 ");
    Serial.println(vLDR4);

    //pitch
    erroranyar = vLDR1-vLDR3;
    deltaerror = erroranyar-errorlawasp;
    errorlawasp = erroranyar;
    g_fisInput[0] = erroranyar;
    // Read Input: deltaerror
    g_fisInput[1] = deltaerror;

    g_fisOutput[0] = 0;
    g_fisOutput[1] = 0;

    fis_evaluate();

    SetTuningsp(1, 0.1, 0);
    control();

    //yaw
    erroranyar = vLDR2-vLDR4;
    deltaerror = erroranyar-errorlawasy;
    errorlawasy = erroranyar;
    g_fisInput[0] = erroranyar;
    // Read Input: deltaerror
    g_fisInput[1] = deltaerror;

    g_fisOutput[0] = 0;

```

```

    g_fisOutput[1] = 0;

    fis_evaluate();

    SetTuningsy(1, 0.1, 0);
    control();
}
else    //PASIF
{
    lcd3.setCursor(5, 2);
    lcd3.print("PASIF");
    t = rtc.getTime();
    jam=t.hour;
    display_data(bearing, fine, pitch, roll); // Display data to the
Serial
    }
}
}
simpanData();
delay(100);
}

```

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BIODATA PENULIS



Muchammad Faishal Defia Rahman, lahir di Sidoarjo pada tanggal 14 Desember 1994 dari pasangan ayah bernama Cucuk Waluyo dan ibu bernama Wiwik Sofiyah. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Pada tahun 2007 penulis menyelesaikan pendidikan SD di SDN Sidokerto 1, tiga tahun berikutnya pada tahun 2010 menyelesaikan pendidikan SMP di SMP Negeri 1 Buduran, pada tahun 2013 menyelesaikan pendidikan SMA di SMA Negeri 1 Sidoarjo. Pada tahun yang sama, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Teknik Fisika ITS. Selama masa studinya, penulis juga turut aktif di beberapa organisasi. Pada tahun 2014/2015 penulis aktif di kementerian kesejahteraan mahasiswa BEM ITS sebagai staff. Pada tahun berikutnya 2015/2016 penulis diamanahi menjadi kepala departemen kesejahteraan mahasiswa HMTF-ITS. Penulis pun turut aktif menjadi asisten laboratorium rekayasa instrumentasi dan kontrol. Penulis juga turut aktif dalam pohon penelitian dosen tentang *solar tracker research*. Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran atau ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai tugas akhir ini, Anda dapat menghubungi melalui nomor: 08993641977 dan atau email: [muchfaishaldrahman@gmail.com](mailto:muchfaishaldrahman@gmail.com)